I

ORSAY
n° d'ordre : 2517

UNIVERSITE DE PARIS-SUD

CENTRE D'ORSAY

THESE

présentée

Pour obtenir

Le GRADE de DOCTEUR D'ETAT

SPECIALITE : SCIENCES NATURELLES

PAR

Mademoiselle MITTEAU Martine

SUJET : EFFICACITE COMPAREE DE PROCESSUS PROVOQUANT UNE DIVERSIFICATION A PARTIR D'UN MEME MATERIEL GENETIQUE CHEZ UNE ESPECE ALLOGAME ANTIRRHINUM MAJUS L.

soutenue le 26 OCTOBRE 1981 devant la Commission d'examen

MM NOZERAN R. Président

DEMARLY Y.

LAUDANSKI F.

MOUNOLOU J.C.

POISSON C.

TOUZARD J.

LIBRARY
EXCHANGE

ORSAY
n° d'ordre : 2517

UNIVERSITE DE PARIS-SUD

CENTRE D'ORSAY

THESE

présentée

Pour obtenir

Le GRADE de DOCTEUR D'ETAT

SPECIALITE : SCIENCES NATURELLES

PAR

Mademoiselle MITTEAU Martine

SUJET : EFFICACITE COMPAREE DE PROCESSUS PROVOQUANT UNE DIVERSIFICATION A PARTIR D'UN MEME MATERIEL GENETIQUE CHEZ UNE ESPECE ALLOGAME ANTIRRHINUM MAJUS L.

soutenue le 26 OCTOBRE 1981 devant la Commission d'examen

MM. NOZERAN R. Président

DEMARLY Y.

LAUDANSKI F.

MOUNOLOU J.C.

POISSON C.

TOUZARD J.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547316_0005

TABLE DES MATIERES

	Page
I - INTRODUCTION	7
I.1 - Le choix du programme	7
I.2 - Le contrat D.G.R.S.T.	8
I.3 - Le choix du thème	8
II - GENETIQUE ET AMELIORATION DE L'ANTIRRHINUM	11
II.1 - La biologie de l'Antirrhinum	11
II.2 - Les étapes récentes de l'amélioration	16
III - DESCRIPTION DU CRIBLE EN JOURS COURTS	19
III.1 - Le crible	19
III.1.1 croissance et floraison à faible température	19
III.1.2 croissance et floraison en lumière naturelle	22
III.1.21 la durée de l'éclairement	
III.1.22 l'intensité lumineuse	
III.2 - L'outil : la serre, ses limites	28
III.2.1 le choix du type de serre	28
III.2.2 l'implantation de la serre	29
III.3 - Méthode de préparation des plantes (du semis à la plantation)	29
III.4 - Conduite des campagnes en jours courts	31
III.4.1 plantation	31
III.4.2 rotations	32
III.4.3 fécondations	32
III.5 - La sélection en jours longs	34
IV - DESCRIPTION DU MATERIEL GENETIQUE	35
IV.1 - La collection	35
IV.1.1 étude préalable	35
IV.1.2 orientation de l'étude	35
IV.1.3 réalisation de la collection	37
IV.1.31 variétés hybrides F_1 de serre	
IV.1.32 variétés hybrides F_1 de pleine terre	

IV.2 - Les objectifs retenus 41

IV.2.1 la floraison 41

IV.2.2 les qualités ornementales 41

IV.2.21 la hauteur de la plante
IV.2.22 les qualités de l'inflorescence
IV.2.23 la tenue de la tige

IV.2.3 les qualités horticoles 44

IV.2.31 le groupement de la floraison
IV.2.32 le raccourcissement du cycle
IV.2.33 l'absence de ramification

IV.3 - Les caractères analysés 46

IV.3.1 la floraison 46

IV.3.2 la hauteur 49

IV.3.3 les caractères qualitatifs 52

IV.3.31 couleur
IV.3.32 port de la plante
IV.3.33 allure globale de l'inflorescence

IV.3.4 mise en évidence d'une liaison hauteur-floraison 54

V - DIVERSIFICATION DU MATERIEL GENETIQUE 59

V.1 - Description des méthodes utilisées 59

V.I.1 sélection généalogique directe 59

V.I.2 première sélection convergente 62

V.I.3 deuxième sélection convergente 62

V.I.4 troisième sélection convergente 63

V.2 - Comparaison des résultats obtenus dans les différents essais en jours courts 63

V.3 - Résultats obtenus - comportement en I_0 66

V.3.1 sélection généalogique directe 66

V.3.11 floraison
V.3.12 hauteur

V.3.2 première sélection convergente 70

V.3.21 floraison
V.3.22 hauteur

V.3.3 deuxième sélection convergente 74

V.3.31 floraison
V.3.32 hauteur

V.3.4 troisième sélection convergente 81

V.3.41 floraison
V.3.42 hauteur

V.4 - Comparaison en I_0 des voies de diversification 83

V.4.1 floraison 83

V.4.2 hauteur 86

VI - COMPARAISON DES VOIES DE DIVERSIFICATION AU TRAVERS DE LA SELECTION GENEALOGIQUE 89

VI.1 - Présentation des résultats 89

VI.1.1 description de la méthode 89

VI.1.2 efficacité comparée 91

VI.2 - Le comportement du port de la plante 92

VI.3 - Efficacité comparée de la sélection des caractères quantitatifs selon les voies de différenciation 95

VI.3.1 la hauteur 98

VI.3.11 sélection généalogique directe
VI.3.12 première sélection convergente
VI.3.13 deuxième sélection convergente
VI.3.14 troisième sélection convergente

VI.3.2 la floraison 103

VI.3.21 comparaison des représentations graphiques
VI.3.22 le groupement de la floraison
VI.3.23 les groupes de précocité

VII - COMPARAISON DES VOIES DE DIVERSIFICATION AU NIVEAU DES HYBRIDES F_1 113

VII.1 - Présentation de la méthode 113

VII.2 - Analyse des résultats au niveau du port 113

VII.3 - Analyse des essais diallèles pour les variables floraison et hauteur 119

VII.3.1 les données 119

VII.3.2 l'analyse de variance 119

VII.3.3 les résultats 168

VII.4 - Analyse pour quelques caractères particuliers 169

VII.4.1 largeur de la fleur 169

VII.4.2 longueur de l'inflorescence 169

VII.4.3 densité de l'inflorescence 174

VIII - EFFET COMPARE DES QUATRE VOIES DE DIVERSIFICATION - SYNTHESE DES RESULTATS DES ESSAIS DIALLELES 177

VIII.1 - Modèle d'interprétation des essais diallèles 179

VIII.1.1 la représentation graphique Wr = f (Vr) 179

VIII.1.2 la représentation graphique Wr + Vr = f (yr) 180

VIII.1.3 les composantes génétiques de la variation 181
VIII.1.4 les aptitudes à la combinaison 181

VIII.2 - Récapitulation des résultats des analyses diallèles 184

VIII.2.1 la hauteur 184
VIII.2.2 la floraison 191

VIII.3 - Comparaison des voies de diversification 197

VIII.3.1 hauteur 197
VIII.3.2 floraison 200
VIII.3.3 conclusion 201

IX - SYNTHESE ET DISCUSSION 203

IX.1 - Liaison floraison-hauteur 203

IX.2 - Incidence de la limitation des effectifs : efficacité de la sélection généalogique 204

IX.3 - Incidence de la limitation des effectifs : effet de dérive 207

IX.3.1 la dérive au niveau d'un lot pour une génération 208
IX.3.2 la dérive au niveau de l'ensemble des lots 208

IX.4 - Différenciation des effets des quatre modes de diversification 217

IX.5 - Effets des différents modes de convergence 219

IX.5.1 importance de la variabilité 219
IX.5.2 effets des modes de convergence sur la structure génétique des lignées 220

IX.5.21 la sélection généalogique directe
IX.5.22 la première sélection convergente
IX.5.23 la deuxième sélection convergente
IX.5.24 la troisième sélection convergente

IX.6 - Les aptitudes à la combinaison 224

IX.6.1 par rapport au niveau de départ 224
IX.6.2 par rapport aux lignées parentales 224

X - CONCLUSION DU PROGRAMME 231

X.1 - Bilan du programme 231

X.2 - Les variétés hybrides F_1 réalisées 233

BIBLIOGRAPHIE 241

I - INTRODUCTION

L'étude qui est ici présentée, ne constitue pas un travail conçu et mené comme une entité. Au contraire, il s'agit d'une tranche d'un programme poursuivi par le laboratoire de 1969 à 1979, et qui a été établi pour permettre l'obtention de géniteurs sélectionnés devant servir de base à une création variétale commerciale.

I.1 - LE CHOIX DU PROGRAMME

Cette étude a été réalisée dans le cadre du laboratoire I.N.R.A. rattaché à la Chaire de Génétique de l'Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture (E.N.S.H.) en 1965. Ce laboratoire s'est orienté, dès son origine, vers l'étude des plantes ornementales à multiplication sexuée non abordée en France jusqu'alors par la recherche d'Etat.

Le choix des premières espèces qui ont été inscrites au programme a été réalisé en tenant compte de leurs différentes caractéristiques ; la principale, pour nous, était leur aptitude à réaliser leur cycle de graine à graine durant l'année scolaire. L'objectif visé était de permettre ainsi à quelques-uns de nos étudiants d'aborder, pratiquement, certains aspects de la sélection durant leur scolarité.

L'Antirrhinum et le Delphinium annuel ont été retenus. En fait, il s'agissait dans un cas comme dans l'autre, d'espèce de jours longs à l'état spontané. Conformément à notre orientation, il fallait donc, en fait, envisager leur culture à contre-saison. Pour l'Antirrhinum, on connaissait des variétés aptes à fleurir en hiver qui utilisaient des différences de comportement vis-à-vis du photopériodisme en relation avec la température. Pour le Delphinium, il s'agissait d'une tentative.

Dans cette première étude, les objectifs étant tout autres que ceux d'une amélioration en vue de la production, la collection constituée englobait des espèces botaniques, des écotypes et des anciennes variétés-populations. Toutefois, le comportement hivernal de certains génotypes a été tout à fait favorable ; il nous a conduit à envisager un élargissement de la gamme spécifique en vue d'une étude qui serait basée sur l'aptitude à fleurir en hiver ce que nous avons dénommé improprement, aptitude à fleurir en jours courts, car il s'est agi, le plus souvent, pour les espèces envisagées, d'un comportement indifférent au photopériodisme, tout au moins dans le cas des températures hivernales réduites. Cette expression a été conservée dans la suite pour caractériser la période de floraison qui nous intéresse et non un comportement physiologique.

I.2 - LE CONTRAT D.G.R.S.T.

L'étude du comportement en jours courts de différentes espèces ornementales à multiplication sexuée a pu s'incorporer dans une action concertée "serres", menée en vue de diversifier les cultures sous abris par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (D.G.R.S.T.).

L'objet du programme étant de chercher des cultures de substitution à la laitue d'hiver sous serre, les cultures ornementales ont été envisagées comme une solution possible. Economiquement, la période la plus souhaitable pour une telle production est celle que couvrent les jours courts décroissants (novembre, décembre) et croissants (janvier). Les espèces ornementales y sont peu nombreuses, d'un prix de revient élevé et, par voie de conséquence, chères.

La sélection de variétés florales capables de donner des fleurs coupées de qualité durant cette période et dans des conditions de culture économiques est donc apparue éminemment souhaitable.

De ce fait, les objectifs du programme ont donc été essentiellement appliqués. Ils ont été définis par des représentants de l'E.N.S.H., du département Génétique et Amélioration des Plantes de l'I.N.R.A. et des professionnels membres de la section fleurs de l'Association des Créateurs de Variétés Potagères et Florales (A.C.V.P.F.). Il s'agissait de rechercher et de fixer au sein des espèces florales à multiplication sexuée des génotypes capables de fleurir dans la période des jours les plus courts et groupant des caractères horticoles et ornementaux.

La recherche des génotypes favorables a été conduite au cours d'essais de comportement menés sur plusieurs campagnes en jours courts ; 26 espèces ont été ainsi jugées. Les conditions économiques de production ont été définies en prenant pour base les conditions de culture de la laitue de serre en 1969 (température : 11°, absence d'éclairage d'appoint). Le comportement des espèces dans ces conditions est présenté en annexe dans le tableau A-I-1 (1).

I.3 - LE CHOIX DU THEME

Au cours des essais de jugement de l'aptitude à la floraison en jours courts, nous avons noté, quant aux espèces, deux types de comportement :

- hétérogène : allant de l'absence de floraison à la floraison complète mais échelonnée pour un lot donné

- homogène : floraison complète et groupée du lot

La mise en lignée des génotypes ayant répondu favorablement a été entreprise afin d'améliorer le caractère de floraison en jours courts et en particulier obtenir une floraison groupée.

Afin d'utiliser plus complètement le potentiel génétique de la collection de départ et d'accentuer les caractères horticoles et ornementaux des génotypes retenus pour la mise en lignées, différentes voies de diversification ont été appliquées telles que : croisements dirigés, brassage panmictique, mutagenèse...

L'Antirrhinum, dans ce programme, a pris une place prédominante du fait de la connaissance que nous avions antérieurement acquise et de sa faculté d'adaptation aux conditions nouvelles que nous lui avons imposées.

---

(1) les documents présentés en annexe sont référencés par la lettre A suivie du numéro du chapitre, en chiffres romains, auquel ils se rapportent.

De ce fait, cette espèce nous a servi de modèle. Les processus de diversification par brassage panmictique et croisements dirigés y ont été plus développées que chez les autres espèces qui ont fait aussi l'objet d'une sélection. C'est cette méthodologie que nous avons choisi de présenter ici étant entendu qu'elle a été conduite dans le but de déterminer la méthode la mieux adaptée à cette espèce et aux caractères sélectionnés. La mutagenèse, mentionnée ci-dessus, n'a été appliquée qu'à trois espèces (Callistephus, Zinnia et Delphinium vivace) qui présentaient des problèmes particuliers d'adaptation (hauteur réduite des plantes ou absence de rigidité de la tige.

Ces voies de diversification ont été comparées aux différents niveaux de la sélection :

- dans la génération qui a suivi immédiatement leur application
- au cours de la sélection généalogique qui a été conduite ensuite
- au stade ultime de jugement des lignées sélectionnées, au travers de leur aptitude à la combinaison puisqu'en effet, les lignées obtenues à l'issue de ce programme doivent permettre la création de variétés hybrides F_1.

La production de ce type variétal est facilitée par l'introduction dans certaines de ces lignées de la stérilité mâle monogénique récessive mise en évidence au laboratoire (F. LAUDANSKI et al., 1970) (II-1 d)[1]. En son absence, les hybrides peuvent être produits par castration et fécondation manuelles.

Ainsi que nous l'avons souligné en tête de ce chapitre, l'étude qui est rapportée ici a été réalisée dans un but de création variétale devant permettre de prouver l'efficacité des méthodes mises en oeuvre. Du fait du caractère appliqué de l'objectif, il ne nous a pas été possible d'apporter les développements que nécessitait l'explication de certains points, ni de conserver le matériel génétique défavorable qui aurait permis de juger l'ensemble de la variabilité engendrée dans chacune des phases de la sélection.

Je suis consciente des failles que présente, de ce fait, ce travail. Toutefois, je pense qu'on ne pourra lui nier le mérite d'avoir mené à son terme l'idée qui lui a servi de base.

Qu'il me soit permis d'exprimer ici ma profonde gratitude envers Monsieur LAUDANSKI, initiateur de cette idée.

Tous mes remerciements vont aussi vers les membres de la section fleurs de l'A.C.V.P.F. et du Département de Génétique et d'Amélioration des Plantes de l'I.N.R.A., sans qui rien n'aurait été possible puisqu'ils ont tissé la trame de ce programme y apportant toute leur compétence ainsi que les moyens qu'il requérait.

(1) les illustrations présentées dans le texte sont référencées par le numéro du chapitre, en chiffres romains, auquel elles se rapportent suivi du numéro d'ordre dans le chapitre.

II - GENETIQUE ET AMELIORATION DE L'ANTIRRHINUM

II.1 - LA BIOLOGIE DE L'ANTIRRHINUM

Le genre Antirrhinum selon la nomenclature de TOURNEFORT (1700) tire son nom du grec αντι, comme et ριν, museau, allusion à la forme globuleuse de la fleur dont la corolle se termine en bosse ce qui le différencie du genre voisin Linaria, lui aussi indigène, et dont la corolle est prolongée en éperon (COSTES - 1937). Cette caractéristique se retrouve dans les noms vernaculaires de l'Antirrhinum :

français : muflier, gueule de lion, gueule de loup
allemand : Löwenmaul
italien : bocca di leone
néerlandais : leeuwebek
portugais : bocas de lobo

Le nom anglais, snapdragon, fait allusion aux mouvements des lèvres de la fleur (to snap : happer).

L'Antirrhinum appartient à la famille des scrofulariacées dont il présente les principales caractéristiques : une fleur zygomorphe à pétales soudés possédant quatre étamines de tailles inégales (androcée didyname). La cinquième étamine comme chez la plupart des scrofulariacées est absente ou parfois représentée, chez certaines variétés par une languette pétaloïde (II-1_b).

La position spatiale des étamines par rapport au style détermine l'allogamie du muflier (cf. II-1_a et II-1_d) (J. MONTEGUT - 1961). La pollinisation des mufliers est entomophile (cf. II-1_c), elle est pratiquée principalement par les bourdons. Ultérieurement, les fleurs peuvent être visitées par les abeilles (cf. II-2).

Si la biologie florale du muflier ne permet pratiquement pas la fécondation en l'absence d'insectes, elle n'exclue pas, toutefois, la possibilité d'un certain taux d'autofécondation lors du "brossage" réalisé par les insectes (cf. II-1_c).

Une évaluation du taux d'allogamie a pu être effectuée lors du brassage panmictique qui est à l'origine de la troisième sélection convergente. En effet, celui-ci a été réalisé par les insectes, les plantes étant disposées sur le terrain de façon à ce que tous les géniteurs participent à la fécondation de façon comparable (chacun étant systématiquement entouré des huit autres).

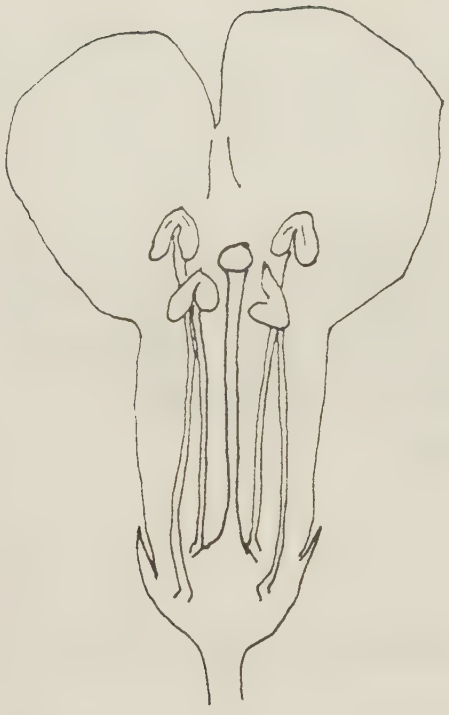
En considérant le coloris des fleurs,(1) on peut analyser deux descendances ; celles-ci sont obtenues après récolte sur chacune des lignées parentales, de telle sorte que l'apport génétique d'origine maternelle soit identifiable.

---

(1). Le coloris floral chez Antirrhinum est sous l'action de quatre gènes principaux qui déterminent les sept teintes de base (travaux de Miss WHELDALE et de E. BAUR). Il s'agit, selon la nomenclature de KUCKUCK et SCHICK (1930) reprise par HANEY (1954), de :

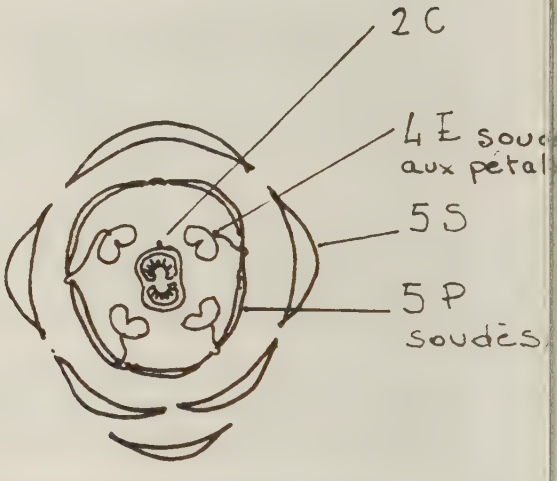
niv	nivea
inc	incolorata
sulf	sulfurea
eos	eosinea

Tenant compte des relations inter-loci de type épistasique, leur effet est présenté dans le tableau suivant (II-3).

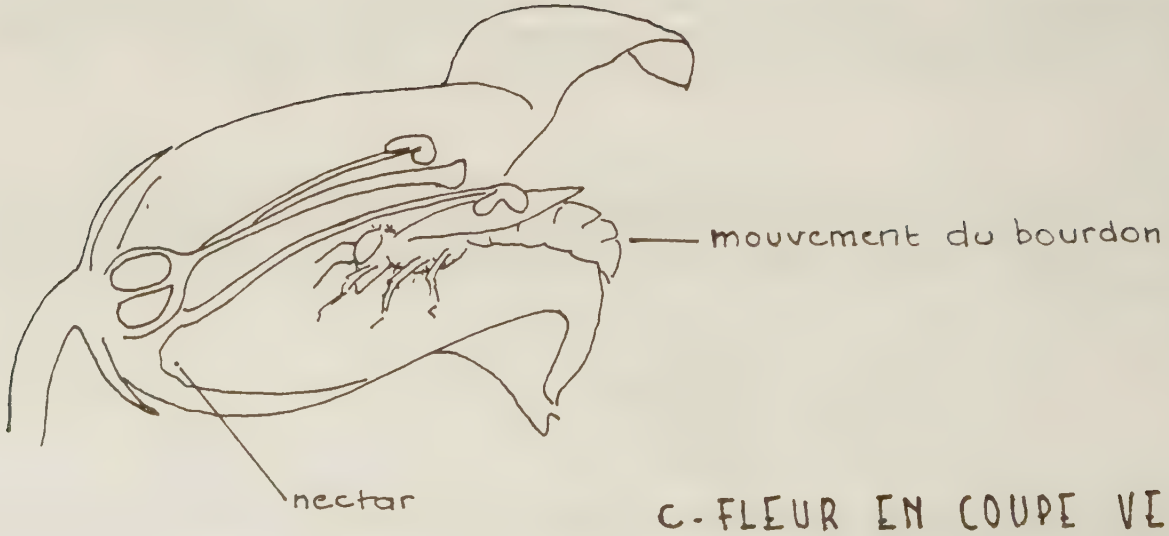


position I

a- FLEUR EN COUPE HORIZONTALE

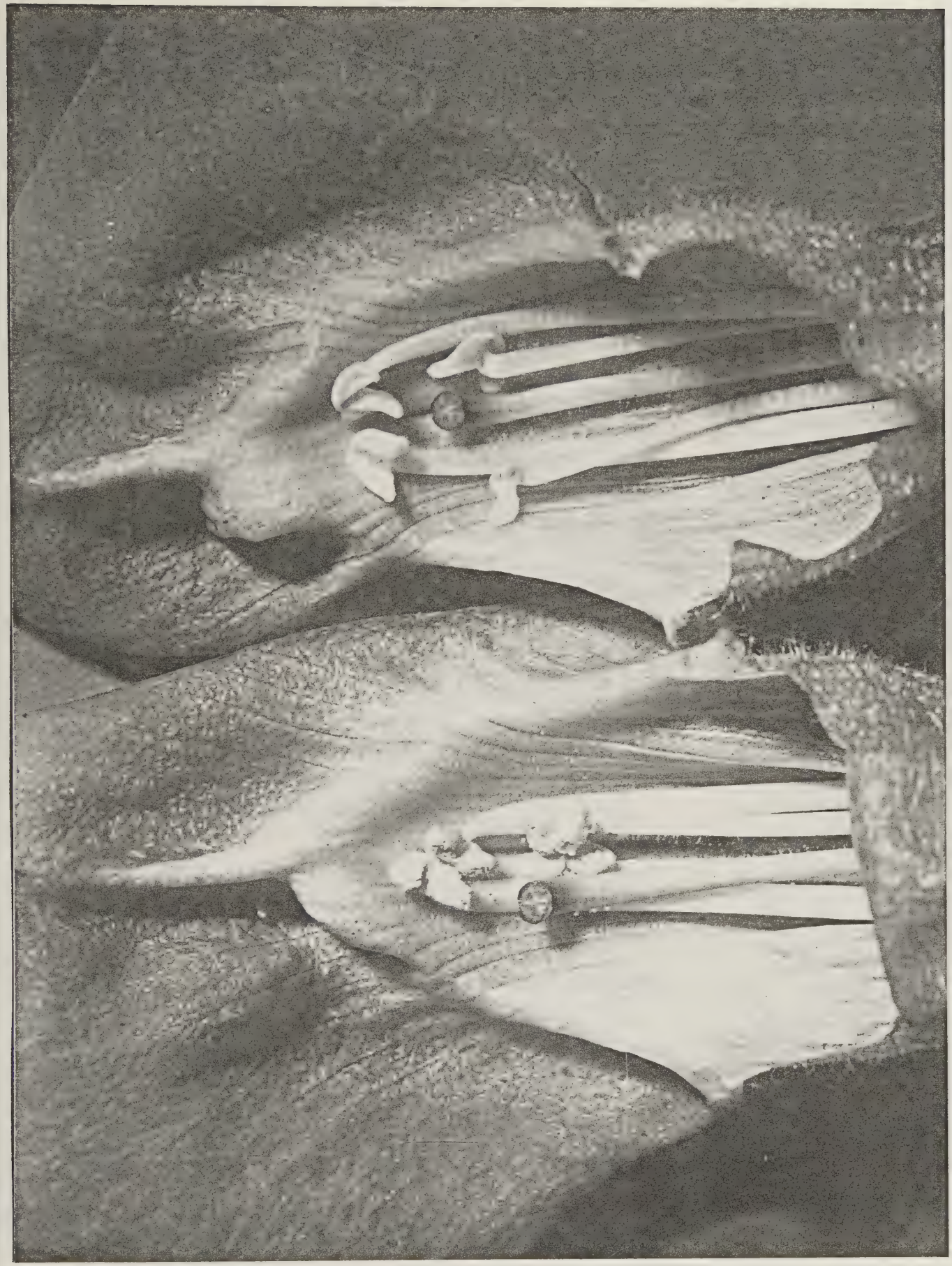


b. DIAGRAMME FLORAL



c- FLEUR EN COUPE VERTICALE

PLANCHE II-1



II-1 d. DISPOSITION DES ETAMINES DANS LA FLEUR

- en bas : fleur après l'anthèse
- en haut : fleur mâle stérile au même stade

II-2 LA FECONDATION DE L'ANTIRRHINUM EST PRINCIPALEMENT ASSUREE PAR LES BOURDONS.

II-3 LES COLORIS DE BASE ET LES PHENOTYPES CORRESPONDANTS

coloris	phénotype (1)
blanc	[niv] quels que soient les autres génotypes pour les loci inc, sulf, eos
jaune	[Niv sulf inc] quel que soit le génotype pour le locus eos
ivoire	[Niv Sulf inc] quel que soit le génotype pour le locus eos
bronze	[Niv sulf Inc eos]
rose	[Niv Sulf Inc eos]
rouge	[Niv sulf Inc Eos]
magenta (pourpre)	[Niv Sulf Inc Eos]

(1) l'allèle dominant a pour initiale une majuscule, l'allèle récessif une minuscule

---

. descendance a : plante-mère à fleurs blanches de génotype niv niv. Les autres plantes du brassage panmictique sont à fleurs colorées de génotypes, soit Niv Niv, soit Niv niv.
On a noté parmi la descendance a :

24 plantes [niv] 7 plantes [Niv]

Du fait de la dominance, on ne connaît pas la fréquence exacte de l'allèle niv parmi la population d'allopollen. Toutefois, si on considère que l'allopollen est uniquement de génotype Niv, le taux d'allogamie calculé est de 23 %. La présence d'allopollen de génotype niv impliquera une valeur supérieure du taux d'allogamie.

. descendance b : plante-mère à fleurs bronze de génotype sulf sulf eos eos. Dans sa descendance après brassage panmictique, on note à côté de plantes à fleurs bronze (26) :

13 plantes à fleurs roses de génotype Sulf sulf eos eos
3 plantes à fleurs rouges de génotype sulf sulf Eos eos

L'apport des gènes Sulf et Eos par l'allopollen, nous conduit à un taux minimum d'allogamie de 38 %, calculé de la même façon que la descendance a.

Il semble donc que, dans nos conditions, l'autofécondation soit plus fréquente que l'allofécondation, cependant cette dernière est suffisamment importante pour conserver aux populations sauvages d'Antirrhinum majus un taux important d'hétérozygotie. D'autre part, ainsi que nous le verrons dans la suite de cette étude, le muflier supporte l'autofécondation répétée sans diminution importante de la vigueur (cf. paragraphe VI-1-1).

L'Antirrhinum cultivé a été identifié à l'espèce majus bien que son origine fasse intervenir plusieurs espèces. Il s'agit d'une plante annuelle dont le cycle de graine à graine est en moyenne de 6 mois. Lorsque les conditions environnantes sont favorables, il peut devenir vivace, formant alors une souche ligneuse buissonnante.

Le coefficient de multiplication de cette espèce est élevé puisqu'une capsule contient de 100 à 200 graines. On estime en moyenne qu'une plante peut produire 0,625 g soit 5 000 graines. Ces graines conservent un haut pourcentage de germination durant quatre ans en conditions de conservation normales en local tempéré.

II.2 - LES ETAPES RECENTES DE L'AMELIORATION

L'évolution la plus récente dans la sélection de l'Antirrhinum a eu pour objectif la création de variétés permettant une production de fleurs coupées toute l'année.

Le muflier, d'origine méditerranéenne, fleurissant durant l'été a tout d'abord été utilisé en tant que plante à massifs pour cette période. En France, pratiquement, sa culture sous serre en vue d'une production déphasée de fleurs coupées n'a débuté que vers l'année 1960.

Aux Etats-Unis, l'espèce étant plus prisée, son forçage a commencé dès les premières décades du vingtième siècle. Elle était alors cultivée sous serre à des températures élevées et dans les conditions de luminosité importante des états du Sud, l'Alabama en particulier, où les latitudes correspondent à celles de l'Afrique du Nord (SANDERSON K.C. et MARTIN W.C. - 1975). Ce n'est que vers 1926 que la culture devint véritablement importante commercialement (POST K. - 1949).

Les variétés étaient inadaptées génétiquement et l'horticulteur devait faire varier très largement les techniques culturales d'une origine à l'autre afin d'obtenir des hampes fleuries commercialisables. Parmi celles-ci, on peut citer :

- la température
- la lumière : utilisation d'un ombrage temporaire. L'éclairage d'appoint n'a été introduit qu'en 1958.
- la fréquence et l'intensité des arrosages
- la fertilisation
- le système cultural : culture en pot, en banquettes, en pleine terre...
- la date de semis
- la date de plantation
- le choix du pincement : la période et le niveau d'application, le nombre de ramifications conservées ultérieurement
- la densité de culture

Par la suite des sélections en vue de l'adaptation à la culture déphasée (hivernale en particulier), de l'extension de l'aire géographique de culture (remontée vers le Nord) et de l'amélioration de la qualité florale furent entreprises. Elles aboutirent alors à la création de variétés-populations dont la première fut Nelrose obtenue vers 1938. Ce n'est qu'en 1955 que les premières variétés hybrides F_1 firent leur apparition.

Entre temps, des travaux américains permirent de préciser les conditions de température et de luminosité nécessaires pour la croissance du muflier aux différentes périodes de l'année (BLACK H.D., DUFFET W., FLINT H., GRAIG D.L., HANEY W.J., HARVEY D.M., HEDLEY C.L., HILLER W., LANGHANS R.W., LINK C.B. et SHANKS J.B., Mac LAUGHLIN H.A., MAGINESS E.H., MILLER R.O., PETERSEN H. et SCHELLHASE R.).

La sélection d'une gamme de variétés hybrides F_1 fut alors possible en appliquant les conditions ainsi précisées. La première gamme fut proposée en 1961. Elle permettait une production tout au long de l'année, les variétés différant suivant les saisons ; celles-ci étaient sélectionnées selon quatre groupes de comportement définis pour les conditions nordiques des Etats-Unis (latitude de Barcelone et de Rome) :

- groupe I : cultivars présentant une production de tiges et d'inflorescences de qualité avec appoint de lumière durant les jours de faible luminosité du milieu de l'hiver et sous des températures oscillant entre 16 et 18°.

- groupe II : cultivars les mieux adaptés aux conditions naturelles de lumière et de température de la mi-février à la mi-mai et de la fin octobre à la mi-décembre.

- groupe III : cultivars produisant des fleurs coupées de qualité durant la fin du printemps et l'automne.

- groupe IV : cultivars les meilleurs sous les températures élevées et les hautes luminosités des mois d'été (juillet-août).

Ces travaux de sélection se poursuivent à l'heure actuelle permettant de proposer des variétés de mieux en mieux adaptées et une gamme plus étendue dans chaque groupe de comportement (ANON, BALL V., CARBONNEAU M.C. et SAUPE D.C., GUGENHAN, HOLLEY W.D., LINK C.B., MAATSCH R., RABINOVITCH H.D., HEDLEY C.L. et ARTHUR A.E., ROGERS M.N., RUNGER W., SANDERSON K.C., TAYAMA H.K., WHETMAN J.).

L'extension de l'aire de production et notamment le développement de la culture en Europe a posé de nouveaux problèmes. En effet, si l'adaptation des groupes II, III et IV peut permettre des transpositions avec éventuellement un glissement des variétés d'un groupe dans l'autre, il n'en est pas de même pour le groupe I. Les conditions environnantes très différentes de celles rencontrées aux Etats-Unis, principalement la luminosité, deviennent très limitantes dans la période de production concernée par ce dernier groupe. C'est ainsi qu'une nouvelle sélection a dû être envisagée.

III - DESCRIPTION DU CRIBLE EN JOURS COURTS.

III.1 - LE CRIBLE.

Rappelons que, l'objectif du programme est la recherche et la fixation de génotypes capables de fleurir durant les jours courts décroissants et présentant les caractères horticoles et ornementaux requis. Le but est de modifier les assolements maraîchers en hiver sous serre. En conséquence, les caractéristiques du crible sont fixées sur la base du conditionnement minimum des serres en 1969, année où débute le programme.

Le crible permet de trier le matériel végétal en fonction des aptitudes recherchées :

III.1. 1 Croissance et floraison à faible température :

Les températures retenues sont :

. 11° ± 2° : de jour et de nuit.
la variabilité de la température est :
- temporelle : les températures nocturnes ayant une tendance à être inférieures aux températures diurnes du fait de l'influence des températures extérieures. La serre ne possède aucune programmation pour réaliser un thermopériodisme. Cet équipement serait souhaitable afin d'accroître les économies de chauffage.
- spatiale : la serre du fait de sa superficie (cellule de 1 126 m^2) présente un gradient thermique qui demeure cependant inférieur à ± 1°.

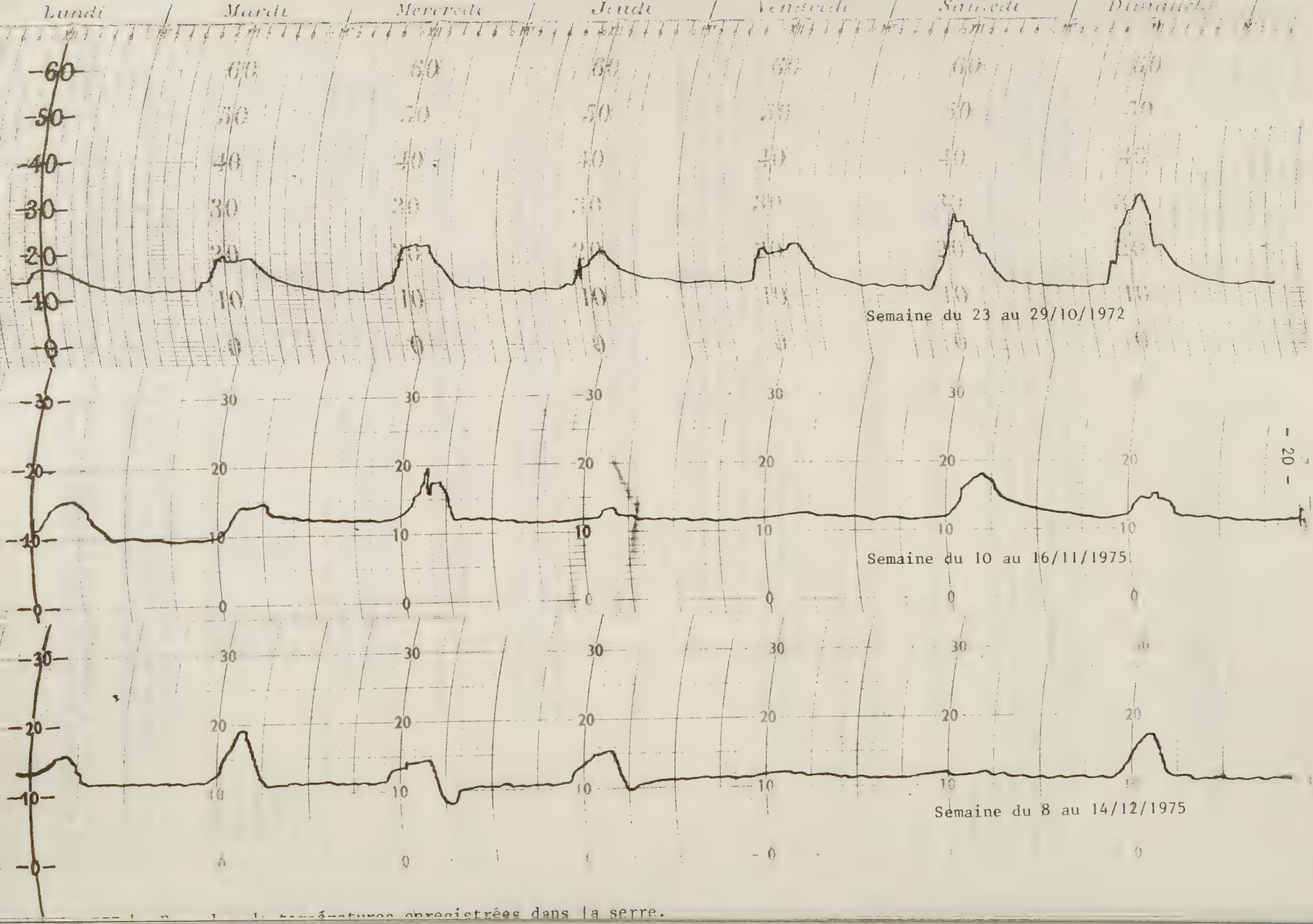
. 15° : déclenchement de la ventilation automatique. Mais l'élévation de température due à l'ensoleillement est toujours de durée limitée en cette période de l'année (cf. planches III-1, III-2 et tableau III-3).

Tableau III-3 - DUREE DE L'INSOLATION MESUREE A PARIS-MONTSOURIS.
(mesures effectuées sur une période de 20 ans) (H. GRISOLLET - 1958)

mois	Durées de l'insolation en h : minimum	moyenne	maximum	nombre moyen de jours où l'insolation > 4 h	nombre moyen de jours sans ensoleillement
octobre	69,3	125,0	185,5	12,2 ± 7,0	4,4 ± 4,5
novembre	33,5	57,4	91,7	4,5 ± 5,5	10,5 ± 6,0
décembre	21,7	46,0	69,7	4,1 ± 4,0	14,2 ± 5,5
janvier	38,2	59,5	91,9	7,0 ± 7,0	11,6 ± 5,5
février	33,6	80,8	122,3	7,3 ± 6,0	6,8 ± 7,0

En ce qui concerne les mois déterminants de la production (novembre, décembre et janvier), l'insolation se répartit sur 10 jours au minimum et 25 jours au maximum; elle ne dépasse que rarement 4 heures (en moyenne 5 jours par mois).

Des durées d'insolation, on peut déduire les fractions d'insolation en les rapportant au maximum mensuel possible (tableau III-4).



... températures enregistrées dans la serre.

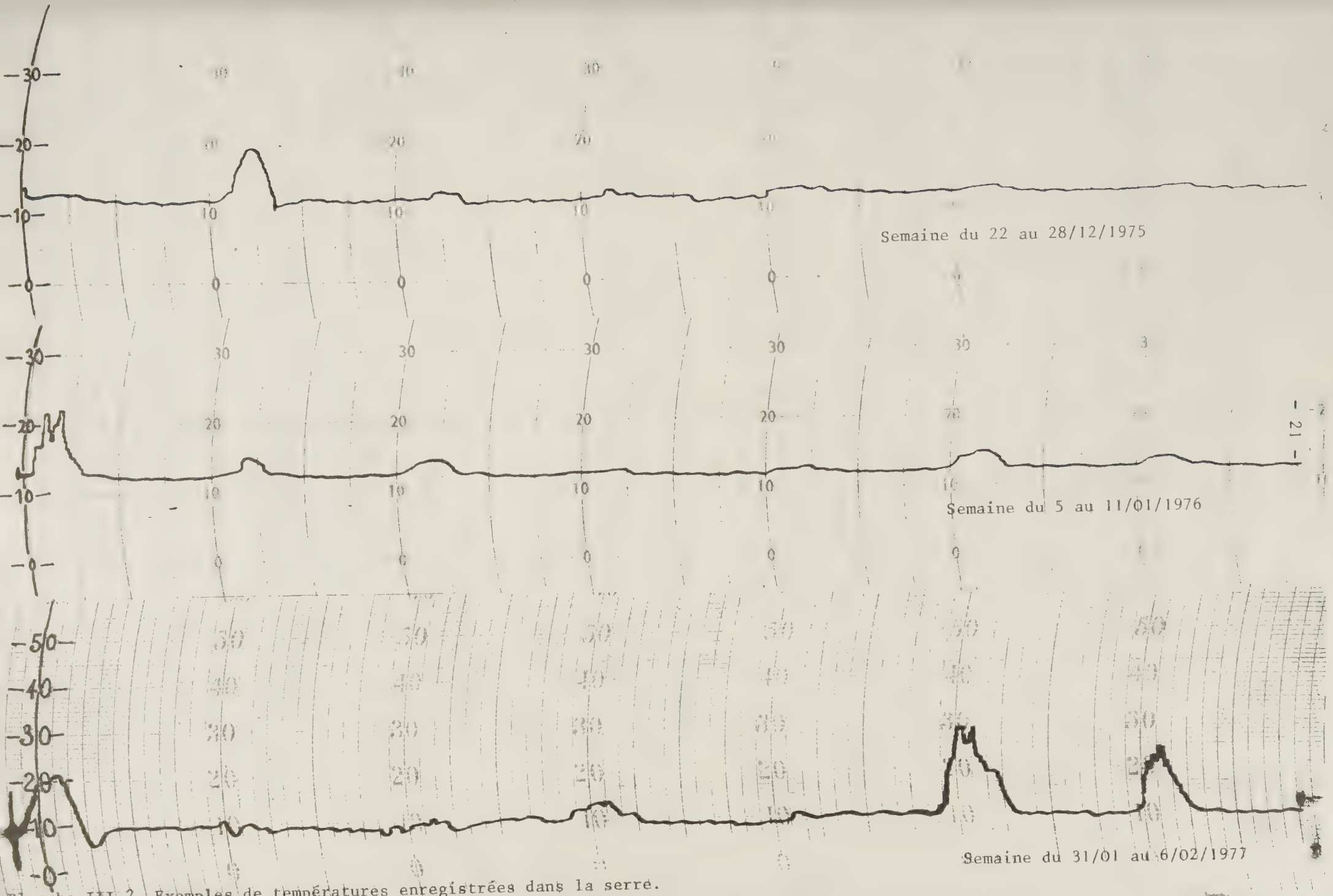


Planche III-2 Exemples de températures enregistrées dans la serre.

Tableau III-4 - FRACTIONS D'INSOLATION DEDUITES DES DUREES D'INSOLATION EN LES RAPPORTANT AU MAXIMUM D'INSOLATION POSSIBLE

mois	Fraction d'insolation en % (Paris-Montsouris) minimum	moyenne	maximum	mesurée à Versailles période 1928-70	longueur moyenne du jour en h.
octobre	21	39	57	39	10 45
novembre	12	21	33	23	9 15
décembre	8	18	27	19	8 15
janvier	14	22	34	22	8 45
février	12	29	43	30	10 00

La fraction d'insolation durant les mois de novembre, décembre et janvier est de l'ordre de 20 % en moyenne soit 3 heures par jour ensoleillé. Sur l'ensemble du mois, elle ne représente qu'1 h 45 par jour soit 7 % d'une journée totale. Pendant la période de floraison, la température est donc considérée comme constante ; les seules variations, dues à l'ensoleillement, étant négligées.

Par contre, l'initiation florale qui à cette température et pour les dates retenu précède en moyenne de 30 jours la floraison (E.A. MAGINNES et R.W. LANGHANS - 1961) peut se trouver décalée chez les génotypes les plus précoces selon le climat d'octobr (l'insolation moyenne représentant alors 17 % d'une journée totale).

III.1. 2 Croissance et floraison en lumière naturelle :

Toutes les phases de la culture sont réalisées en lumière naturelle du semis à la récolte en passant par l'induction florale et la floraison. En fait, la lumière naturelle ne devient vraiment contraignante que d'octobre à fin février. Il faut donc tenir compte de ses limites qui dépendent de :

. la durée de l'éclairement
. l'intensité lumineuse

III.1.21 la durée de l'éclairement

La durée de l'éclairement journalier, du lever au coucher du soleil, varie selon les saisons (planche III-5) et selon les latitudes. En ce qui concerne Versailles durant la période critique la durée de l'éclairement varie de 11 h 36 mn au 1er octobre à 10 h 47 mn au 28 février en passant par un minimum 8 h 10 mn du 21 au 26 décembre (planche III-6 et tableau A.III.1). En fait, du 15 novembre au 30 janvier (77 jours) on observe une variation d'une heure dans la durée du jour.

Pour étudier la floraison, nous avons retenu une durée de jour, appelée jour-unité, de 8h15mn ; il s'agit de la longueur moyenne du jour durant le mois de décembre à Versailles.

L'effet de la latitude doit aussi être considéré puisque :

. la collection botanique et variétale est constituée de provenances très diverses : Tokyo, Chicago, Alger, Copenhague, etc... soit des latitudes variant de 30° à 60°.

. l'expérimentation et l'exploitation du matériel sélectionné doit se faire sur l'ensemble de la France voire à l'étranger.

- en France les latitudes s'échelonnent de 42° 30' à 51° (Versailles 48° 50')

III-5 HEURES DE LEVER ET DE COUCHER DU SOLEIL A PARIS - REPARTITION ANNUELLE DE L'ECLAIREMENT DIURNE

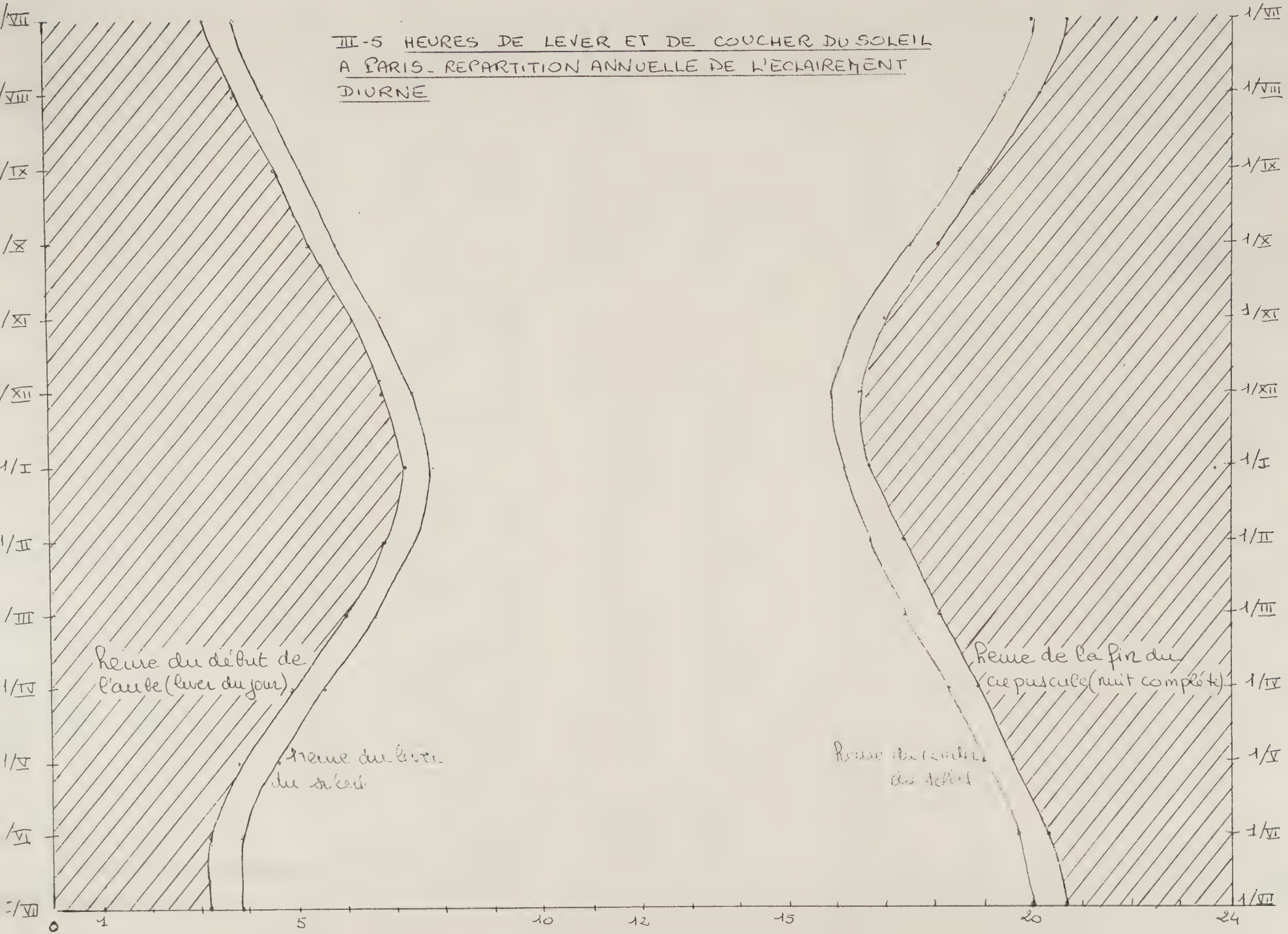
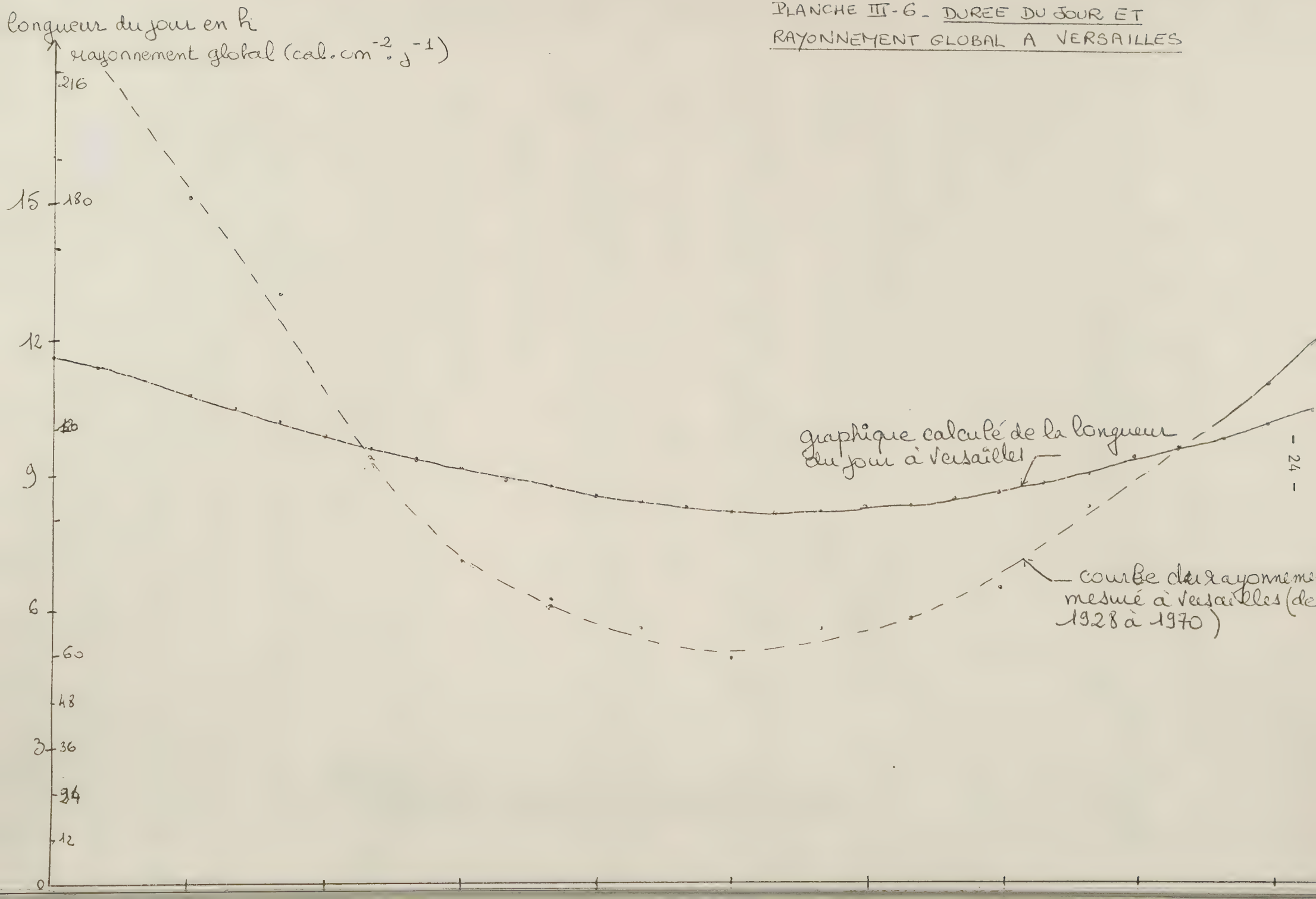


PLANCHE III-6 - DUREE DU JOUR ET RAYONNEMENT GLOBAL A VERSAILLES



- en Europe la production d'Antirrhinum en fleurs à couper pourrait s'étendre de 36° à 55° de latitude.

La planche III-7 présente les variations de la longueur du jour durant les mois d'automne et d'hiver sous différentes latitudes. De ce fait, la sélection réalisée à Versailles pourrait être difficilement utilisée dans d'autres régions de production en l'absence d'expérimentation préalable.

Toutefois, le comportement photopériodique du muflier permet de pallier ce problème. SALISBURY - 1963 a en effet montré que l'Antirrhinum avait un comportement :

- à températures élevées de plante de jours longs quantitatif (c'est-à-dire favorisé par les jours longs) indifférent vis-à-vis de la température.
- à températures basses neutre vis-à-vis de la longueur du jour.

EDWARDS et GOLDENBERG (1975) confirment ce comportement en serre sur différents cultivars conduits à 25° C et à 12° C.

Ainsi aux températures que nous nous sommes fixées, le stade d'induction florale dépend du stade de développement de la plante. Nous pouvons donc agir, en diversifiant les génotypes, sur la vitesse avec laquelle ce stade sera atteint. La sélection faite à Versailles se révèlerait donc favorable puisque réalisée dans des conditions sévères quant à la durée du jour.

III.1.22 L'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse peut se mesurer par la radiation globale : somme de la radiation solaire directe et du rayonnement diffus. La mesure s'effectue en calories par unité de surface et de temps (1 cal.$cm^{-2}.j^{-1}$ = 1 langley.j^{-1}).

La planche III-8 montre la variation annuelle de la radiation globale à partir des moyennes décadaires. L'amplitude annuelle est très élevée (cf. tableau A.III.2), les maximums et minimums se produisant lors des solstices d'été et d'hiver recpectivement. La quantité d'énergie reçue au sol quotidiennement est entre ces deux extrêmes multipliée par un coefficient 9.

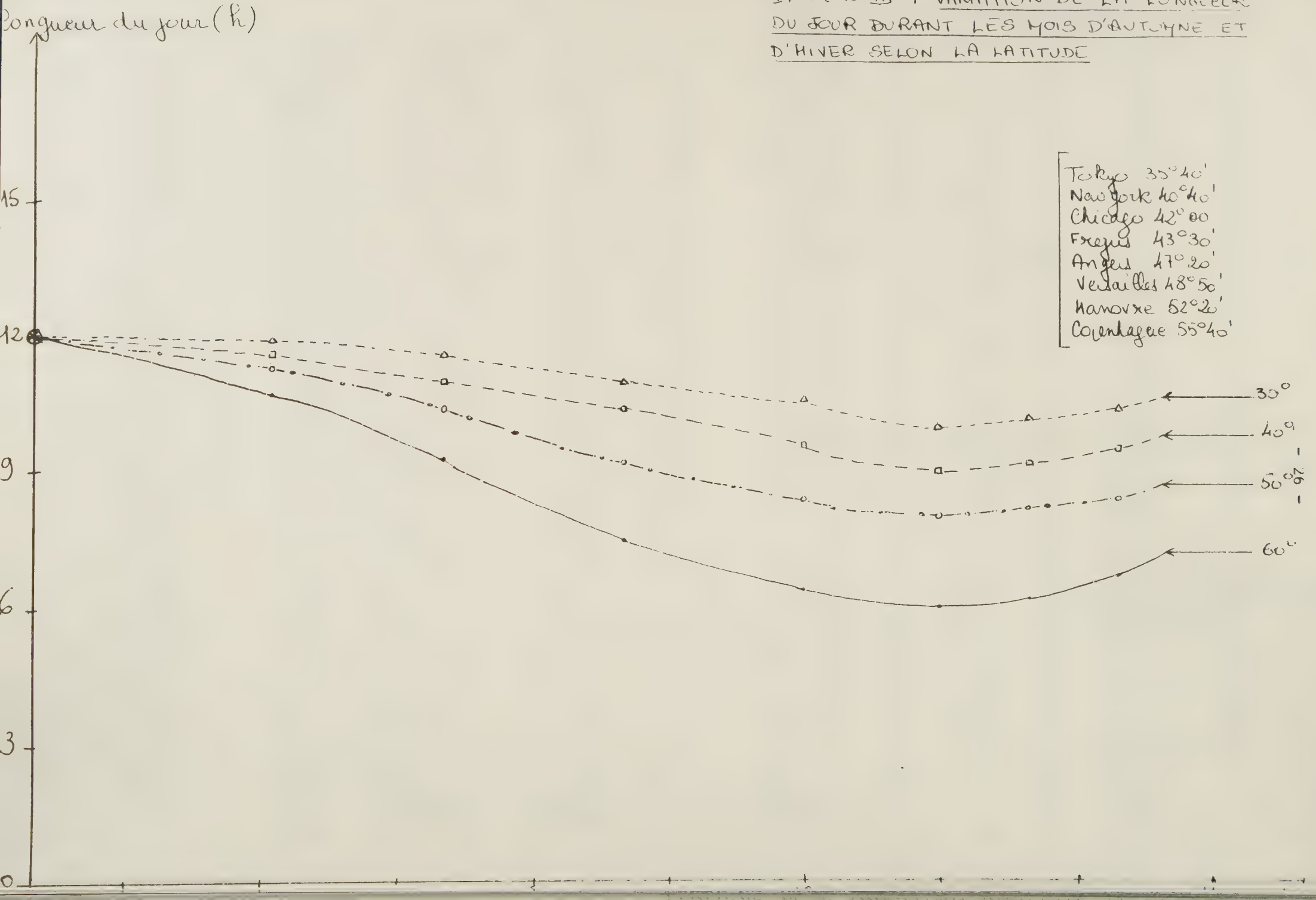
Toutefois, la quantité d'énergie reçue au sol est en général très supérieure aux besoins de la plante. Le niveau de saturation, taux optimum pour la croissance végétative s'échelonne de 10 800 à 32 300 lux (1) selon les espèces (BLACKMAN et BLACK - 1959). En particulier, la tomate présente une production de matière sèche en diminution au-dessus de 13 700 lux (WENT - 1957). Quelques exceptions existent, comme le concombre qui supporte 86 000 lux (KLUETER et al. - 1971). Or, au soleil à midi en juin la luminosité atteint 108 000 lux et par temps couvert, 10 800 lux.

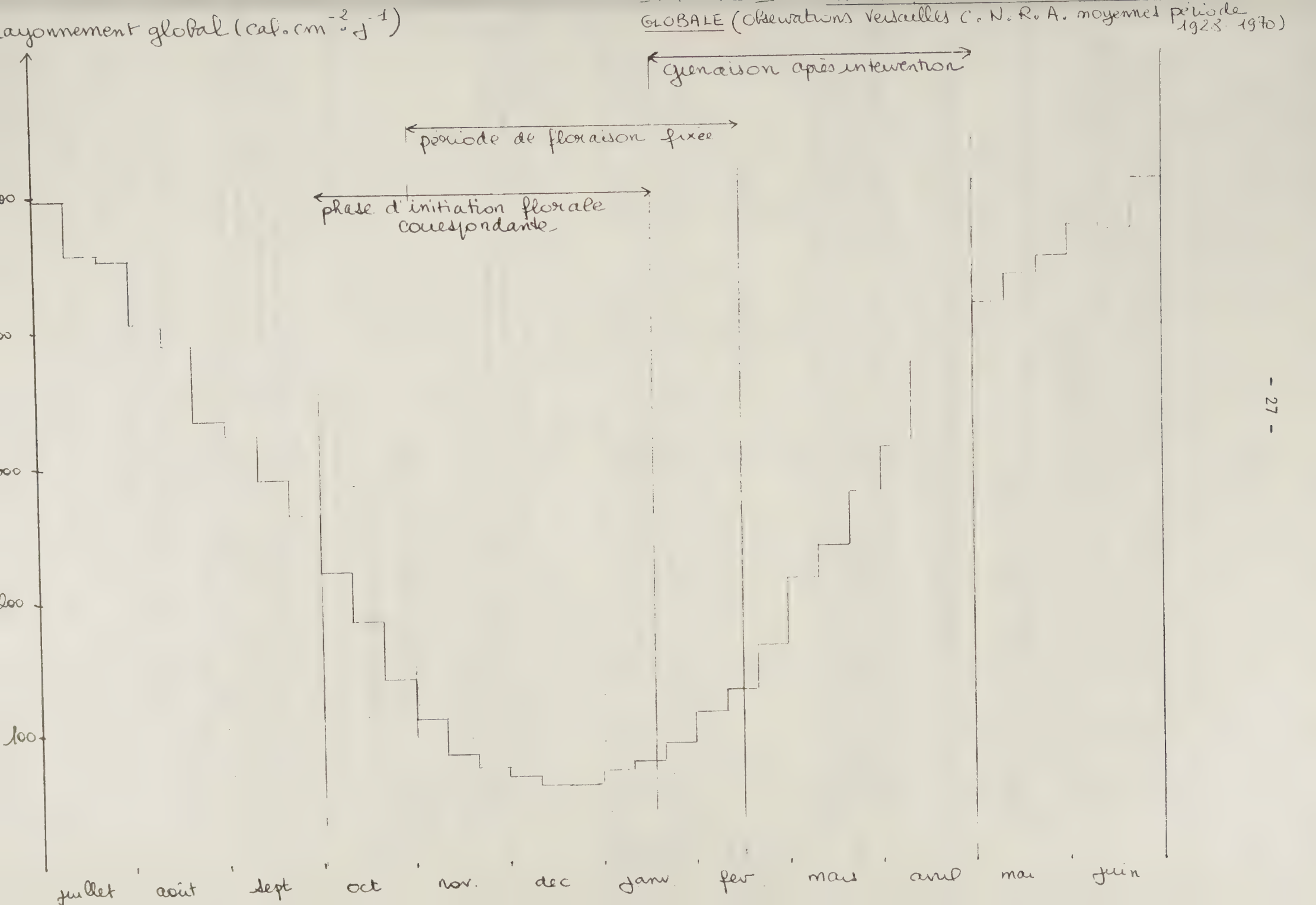
Par contre en hiver, la luminosité à midi est de l'ordre de 12 000 lux par temps ensoleillé, 1 200 par temps couvert. D'une manière générale, on est donc nettement en-dessous du taux optimum pour le développement végétatif. La sélection devra donc tendre à abaisser le taux de saturation dans les types d'Antirrhinum recherchés.

---

(1) En l'absence de mesures continues de l'éclairement à Versailles (lux), il ne nous a pas été possible d'établir la correspondance avec la quantité d'énergie reçue au sol (cal.$cm^{-2}.j^{-1}$). Toutefois, ces deux quantités ayant la même origine (la radiation solaire) ont des comportements parallèles.

PLANCHE III-7 VARIATION DE LA LONGUEUR DU JOUR DURANT LES MOIS D'AUTOMNE ET D'HIVER SELON LA LATITUDE




ayonnement global (cal. cm⁻² . j⁻¹)
GLOBALE (Observations Versailles C. N. R. A. moyennes période 1923 1970)
genaison après intervention
période de floraison fixée
phase d'initiation florale correspondante
00
00
000
000
100
juillet août sept oct nov. dec janv fev mars avril mai juin

De la même manière, la grenaison des lots sélectionnés en hiver pourra être limitée par la luminosité bien que celle-ci n'intervienne qu'après la floraison, c'est-à-dire dans la phase où le rayonnement global s'accroît (cf. graphique III-8). Ainsi, nous n'avons pas rencontré de problèmes de cette nature chez l'Antirrhinum ; par contre pour d'autres espèces (Zinnia, Rudbeckia et Callistephus) la grenaison sans apport de lumière artificielle était impossible.

Ceci pour l'implantation de Versailles puisque l'intensité lumineuse varie aussi avec la latitude (cf. tableau III-9).

Tableau III-9 - MOYENNES MENSUELLES DU RAYONNEMENT GLOBAL A DIFFERENTES LATITUDES (en cal.cm^{-2}.j^{-1}).

mois	Barrow (Alaska) (71° N)	Stockholm (Suède) (60° N)	Irkoutsk (Sibérie) (52° N)	Versailles (France) (49° N)	Washington (U.S.A.) (39° N)	Los Angeles (Californie) (34° N)	Honolulu (I. Hawaï) (21° N)
oct.	41	107	117	181	291	373	507
nov.	0	49	35	90	205	289	426
déc.	0	22	28	62	155	241	371
jan.	0	29	28	79	173	248	363
fév.	38	75	97	135	243	331	422
mai	513	422	285	434	484	572	617
juin	528	450	384	483	513	596	615
juil.	429	414	345	469	491	641	615
août	255	319	272	386	438	581	612
sep.	155	218	172	292	375	503	573

Les effets sont amplifiés pour les latitudes les plus septentrionales par l'importance des variations de longueur du jour. Dans ce cas aussi les conditions relativement sévères rencontrées à Versailles doivent permettre de sélectionner un matériel favorable pour une zone étendue de cultures.

III.2. - L'OUTIL : LA SERRE, SES LIMITES

III.2. 1 Choix du type de serre :

Le propos n'est pas de décrire techniquement l'installation mais de faire ressortir les critères du choix de cet équipement.

La motivation du programme D.G.R.S.T. étant la recherche de cultures pouvant se substituer à la laitue d'hiver sous serre, il fallait donc se placer dans les conditions d'élevage de cette dernière. Ainsi, c'est le modèle de serre de type "maraîcher" le plus fréquent en Ile de France et dans la Vallée de la Loire qui a été retenu ; les cultures y ont été réalisées en pleine terre.

Le choix de l'équipement de la serre est motivé par la recherche d'une homogénéité maximale ce qui constitue un impératif pour tout travail de sélection. Dans notre cas, cette condition est d'autant plus déterminante qu'aucune répétition d'essais ne peut être envisagée en raison de la limitation des surfaces.

Pour réaliser cette condition, il a été prévu :

1) La construction et l'utilisation d'une unique cellule de culture de 1 126 m^2 pour toute cette étude. Cette limitation de la superficie de culture implique la limitation du nombre des plantes étudiées. Pour analyser un nombre maximum de lots, nous avons du limiter à 15 l'effectif des plantes par lot pour la plupart des générations.

2) Une répartition homogène du chauffage sur l'ensemble de la serre. Le système adopté est un chauffage par eau chaude pulsée.

3) L'automatisation des régulations du système de chauffage et de l'aération.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment le gradient thermique observé dans la serre reste inférieur à 2° soit ± 1° par rapport à la température moyenne assurée par une sonde située au centre de la cellule de culture.

III.2.2 Implantation de la serre :

L'implantation de la serre a été étudiée en fonction de la recherche du maximum d'homogénéité.Elle s'est réalisée sur la partie du domaine de la Jonction qui appartient à l'Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture (40 ha). Ce domaine s'étend sur les communes de Chambourcy et de St Germain-en-Laye joignant les forêts de Marly et de St Germain.La serre est adossée au nord à la forêt de St Germain ce qui lui assure une protection climatique sans entraîner d'ombre portée. Elle est orientée NNE - SSO.

En tenant compte de l'angle d'incidence c'est-à-dire la hauteur du soleil sur l'horizon, on conçoit que :

- L'orientation des serres N - S est beaucoup plus favorable, en ce qui concerne l'exposition lumineuse journalière, que celle E - O au solstice de juin. Compte-tenu de la longueur du jour, cette situation est valable de l'équinoxe de mars à l'équinoxe de septembre. Par contre, au solstice de décembre, la situation est inversée,l'exposition lumineuse journalière étant plus favorable avec une orientation E - O. Toutefois la dissymétrie de role des versants provoque alors une distribution irrégulière de la lumière dans la serre. C'est pourquoi l'orientation N - S reste préférable sous nos latitudes même lorsque l'on vise en premier une production hivernale.

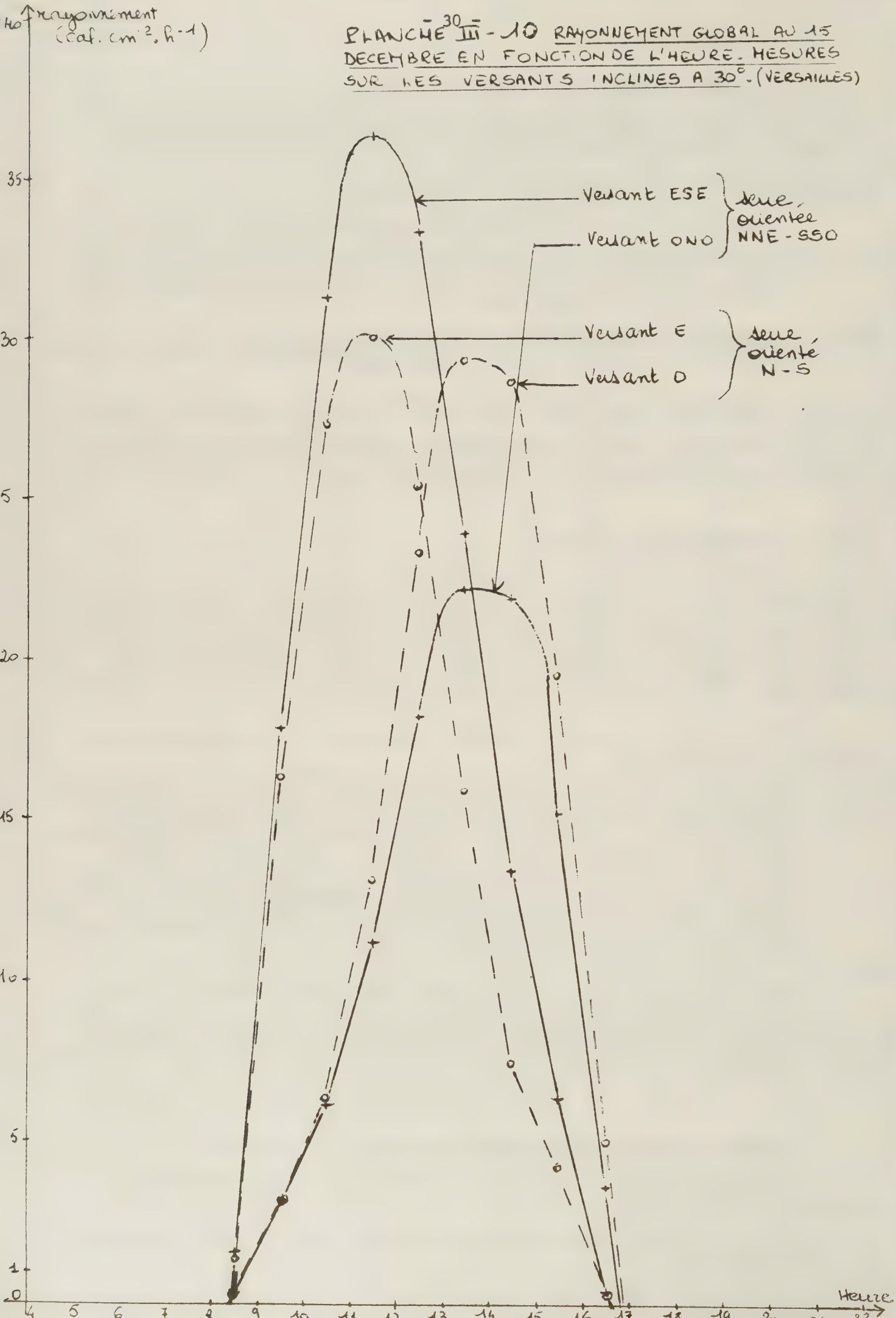
- Dans notre cas, l'orientation NNE -SSO, choisie pour minimiser la pente du terrain, introduit une légére dissymétrie dans le rôle des versants et par là une hétérogénéité dans la serre (cf. planche III-10 d'après R.DOGNIAUX et A.NISEN - 1975) ; cette dernière est atténuée par la construction en chapelles accolées.

III.3 - METHODE DE PREPARATION DES PLANTES (du semis à la plantation).

Les techniques retenues se rapprochent au maximum de celles adoptées par les maraîchers-serristes :

- le semis est réalisé en terrines dans un mélange léger comportant une majeure partie de sable.

PLANCHE 30 III - 10 RAYONNEMENT GLOBAL AU 15 DECEMBRE EN FONCTION DE L'HEURE. MESURES SUR LES VERSANTS INCLINES A 30°. (VERSAILLES)



- le repiquage est pratiqué afin de conserver un bon état sanitaire des jeunes plants et de favoriser leur reprise. Il se fait très précocement au stade cotylédons ouverts (2 à 3 semaines après le semis).

- l'utilisation de mottes en tourbe compressée (5 x 5 x 5 cm) est retenue pour le repiquage et l'élevage des plantes jusqu'à la plantation (soit 5 à 6 semaines) ; ceci leur assure une homogénéité en supprimant les phénomènes de concurrence et tout en apportant un support suffisant pour leur croissance durant cette période.

- la plantation des plantes en mottes au stade 6 à 8 feuilles est réalisée en pleine terre. La motte assure une homogénéité et une facilité de reprise en raison de l'abondant réseau de radicelles développé à sa surface et du maintien d'un bon état sanitaire.

- l'époque de plantation retenue se situe à la fin du mois de septembre - début du mois d'octobre ce qui correspond aux assolements automnaux ou hivernaux des maraîchers-serristes : plantation d'une culture de laitues d'automne ou de radis de jours courts succédant à une production estivale de concombres ou de tomates par exemple.

Par contre, les impératifs de la sélection impliquent :

- l'ajustement des dates de semis en fonction de l'époque de plantation et de floraison retenues (du 1er novembre au 15 janvier) ; elles peuvent s'échelonner du 1er août au 1er septembre.

- le repiquage et la plantation sans sélection des plants en fonction de la vigueur.

- la limitation de chaque lot repiqué à un effectif réduit (de 12 à 48 plantes) ce qui conduit à une sélection des semences en fonction de leur énergie germinative puisque le repiquage suit de très près la levée.

Cette méthode de préparation des plantes qui vise à assurer une homogénéité des essais dans l'espace (pour une même expérimentation) et dans le temps (pour les différentes campagnes en jours courts) introduit une certaine variation. Leurs causes sont pour la plupart décelables (Y. MITTEAU - 1974) :

. hétérogénéité décelable :

- faculté germinative déficiente
- reprise défectueuse au repiquage
- retard à la plantation, la date en étant fixée par le stade de développement des plants ; celui-ci est lié aux conditions climatiques d'août et de septembre qui dans nos conditions sont incontrôlables.

. hétérogénéité non décelable :

- techniques d'élevage non rigoureusement constantes d'un essai à l'autre (modification de la qualité des terreaux et de la tourbe, arrosages, etc...).

III.4 - CONDUITE DES CAMPAGNES EN JOURS COURTS

III.4. 1 Plantation :

La plantation est réalisée en planches de 2,60 m de largeur selon des lignes tracées perpendiculairement à raison de 15 plantes par ligne (0,16 m entre plantes). Les lignes sont jumelées à 0,25 m et écartées de 0,50 m.

Ce dispositif a été adopté pour permettre la sélection : plantation par effectif unité de 15 plantes et espacement facilitant les travaux de notation, d'ensachage et de fécondation. Le tuteurage individuel est alors obligatoire.

La plantation est ainsi réalisée à une densité de 23 plantes au m^2 couvert. En production, la densité retenue est de 64 plantes au m^2 ; pour cela les plantes sont placées en filets à raison d'une plante par maille de 0,125 m x 0,125 m.

Notre dispositif permet de minimiser les effets de concurrence entre plantes et par là les effets de bordures. D'autre part, il conduit à un jugement plus sévère du port des plantes, caractère sélectionné ; le développement des ramifications est en effet favorisé par les faibles densités. Par contre, il implique un effectif inférieu des plantes mises en essai ce qui nous a conduit à éliminer les possibilités de répétitions et un jugement optimiste puisque l'éclairement est plus fort qu'à densité normale. En outre, le tuteurage individuel ne permet pas de juger la tenue et la rigidité des tiges en culture.

III.4. 2 Notations :

Chaque plante est jugée à l'épanouissement de la première fleur. A ce stade, sont notés :

- la date
- la hauteur mesurée du sol à la première fleur épanouie
- le coloris
- le port

Ces caractéristiques seront décrites ultérieurement.

III.4. 3 Fécondations :

Les fécondations sont réalisées sans ensachage. L'Antirrhinum est une espèce allogame à pollinisation entomophile assurée principalement par les bourdons qui arrivent en premier et accessoirement par les abeilles (cf. paragraphe II.1). Or, ces insectes sont inactifs durant les mois d'hiver.

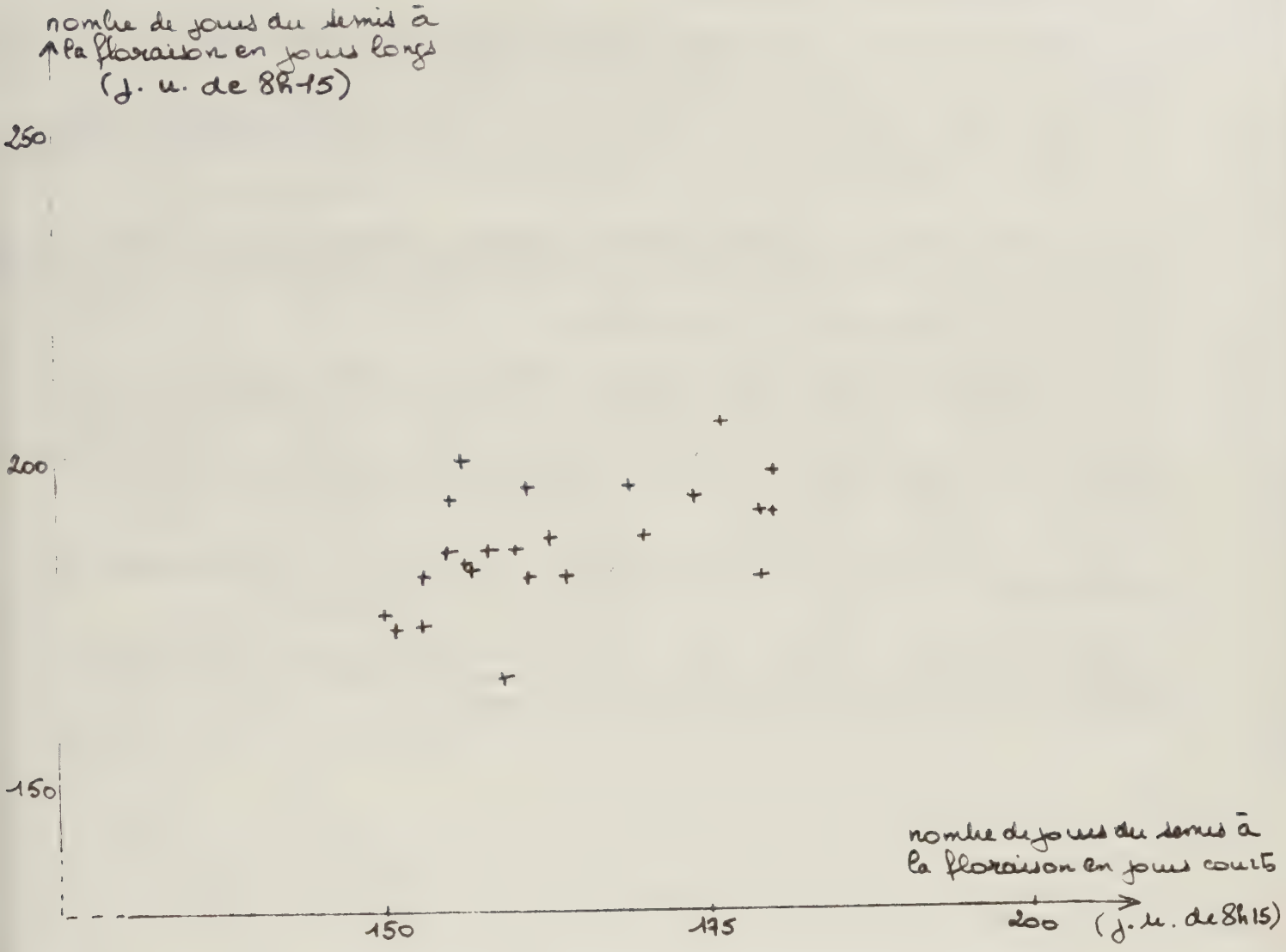
La biologie florale de cette espèce permet d'assurer l'autofécondation par simple frottement horizontal des lèvres supérieure et inférieure de la fleur.

Les croisements sont réalisés en deux temps :

- castration par pince ou ciseau avant l'anthèse : suppression des anthères ; la corolle est conservée intégralement ce qui confère au pistil et à l'ovaire un microclimat favorable à la fécondation et au développement des ovules.

- fécondation 12 à 24 heures plus tard : apport du pollen au pinceau ou directement par contact des étamines du parent pollinisateur.

La maturation des semences demande de deux à trois mois en hiver. Les semences récoltées peuvent être immédiatement semées puisqu'il n'y a aucune dormance. Sans précautions particulières si ce n'est l'absence de brusques variations thermiques ou d'une hygrométrie élevée, les graines peuvent être conservées durant 4 ans sans modification notable de leur faculté germinative.



coefficient de corrélation	$r = 0,57$	
intervalle de confiance (5%)	0,30 - 0,84	
test de conformité (22 degrés de liberté)	$t = 3,24$	HS

PLANCHE III.11 - ETUDE DE LA CORRELATION ENTRE LA FLORAISON EN JOURS COURTS ET LA FLORAISON EN JOURS LONGS. CAS DE LA I$_1$

III.5 - LA SELECTION EN JOURS LONGS.

Le cycle complet de l'Antirrhinum (de 6 à 7 mois de la graine à la graine) permet pour la majorité des génotypes de réaliser deux générations par an. Ceci a pour avantage d'accélérer le rythme des générations. Toutefois, les caractères déterminants (floraison durant les jours courts, hauteur, port) ne peuvent alors faire l'objet d'une sélection. Nous avons pu vérifier que ces cycles "aveugles" ne contrecarraient pas l'effort de sélection raalisé en jours courts.

Ainsi une étude de corrélation entre les dates de floraison en jours courts et en jours longs a été réalisée au niveau I_1, génération en disjonction puisque la majeure partie du matériel de départ est constituée de variétés hybrides F_1 (cf. planche III-11) ; malgré cela, elle s'avère positive.

La comparaison du comportement en jours courts et en jours longs de 24 lots I_1 issus d'origines différentes fait ressortir un coefficient de corrélation de 0,57 qui est hautement significativement différent de 0. Ceci implique qu'une lignée précoce en jours longs aura une forte probabilité d'être également précoce en jours courts, qu'une lignée tardive en jours longs sera probablement tardive en jours courts.

En ce qui concerne la hauteur des plantes, bien qu'elle soit très modifiée par les jours courts, la corrélation (non calculée) est encore plus nette.

Enfin, en ce qui concerne le port, la sélection pour le caractère unicaulis lorsqu'elle devra être effectuée ne pourra que s'exercer dans un sens positif, la croissance en jours longs favorisant la ramification.

IV - DESCRIPTION DU MATERIEL GENETIQUE.

IV.1 - LA COLLECTION.

IV.1. 1 Etude préalable :

Une étude préalable du comportement de l'Antirrhinum en hiver, nous avait conduit à constituer une première collection dès 1966. Elle comprenait :

- 45 écotypes d'origine méditerranéenne d'Antirrhinum majus et A. latifolium récoltés lors de deux prospections, l'une réalisée dans le Languedoc et le Roussillon et la seconde en Provence, ou obtenus par l'intermédiaire de botanistes.

- 44 provenances de jardins botaniques français ou étrangers (Besançon, Lyon, Madrid, Nimègue, Stockholm, Alger, etc...) (A. majus et espèces très apparentées : A. latifolium, A. romanum, A. tortuosum, A. siculum, certaines de ces espèces étant souvent considérées comme des sous-espèces d'A. majus).

- 68 variétés-populations, sélections anciennes, françaises et italiennes, de mufliers pour les massifs estivaux.

Ce matériel fleurit dans son aire d'origine (écotypes et provenances de jardins botaniques) ou de culture (variétés-populations) de mai à août donc, selon notre terminologie, en jours longs.

Semée en été en vue d'une floraison en jours courts, cette collection a permis de mettre en évidence, dans la majorité des lots une indifférence vis-à-vis du photopériodisme. En effet, l'initiation florale s'est échelonnée d'octobre à mars selon le stade de développement et l'origine des plantes.

IV.1. 2 Orientation de l'étude :

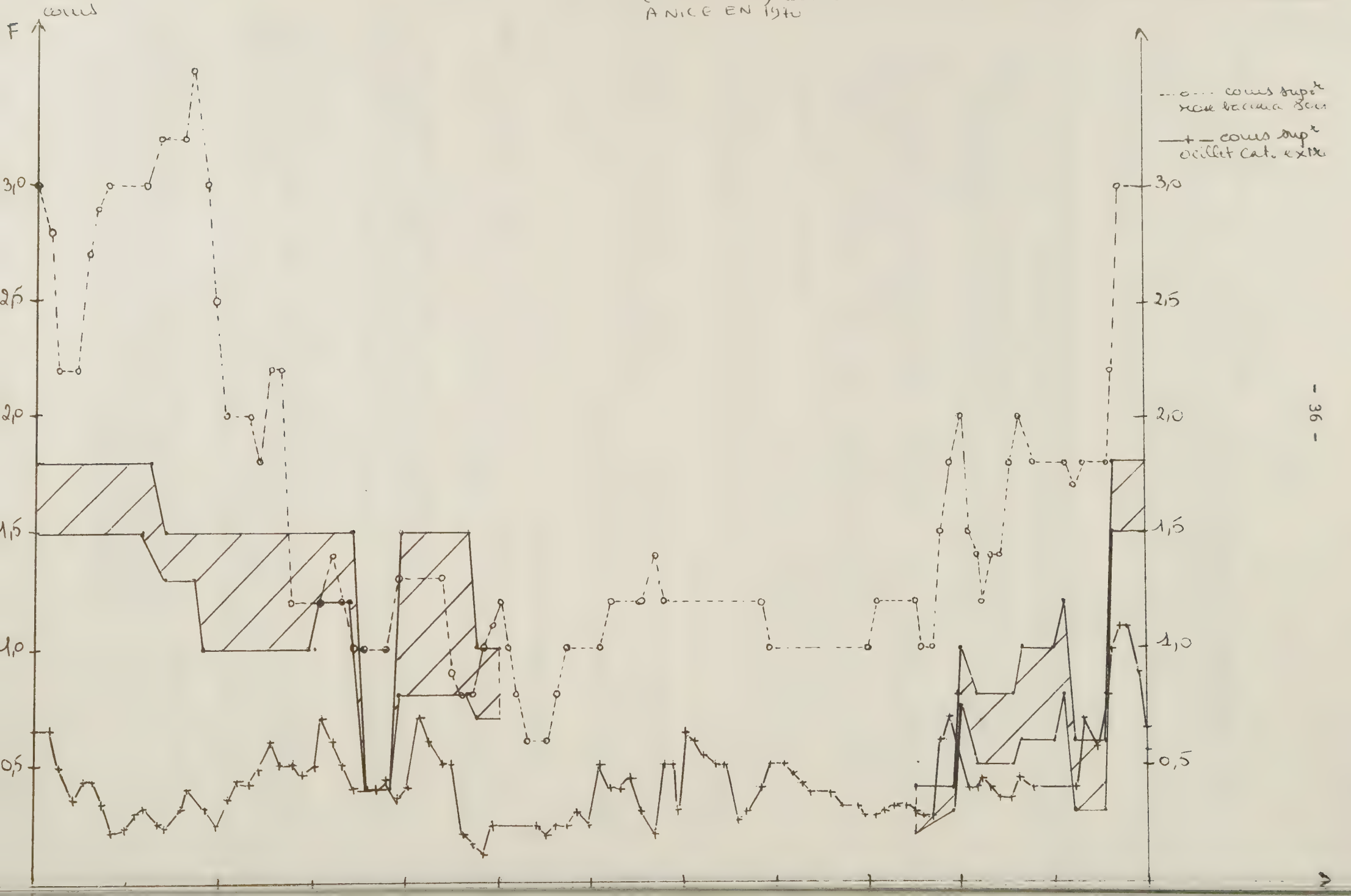
C'est le comportement favorable en hiver de ce premier matériel qui nous a amené, avec l'appui de l'I.N.R.A., a solliciter une convention D.G.R.S.T. en vue d'une création variétale pour ce type de production.

En effet, la période qui correspond aux jours courts et particulièrement aux jours courts décroissants est une période défavorable à la production florale : la gamme spécifique est très réduite et les conditions de production sont onéreuses. Par contre, c'est une période économiquement intéressante, comprenant en particulier les fêtes de fin d'année.

La planche IV-1 montre les fluctuations des cours du rosier, de l'oeillet et de l'Antirrhinum durant une année, l'année 1970 étant prise comme exemple (Bulletin des Nouvelles du Marché des Fleurs, Plantes et Feuillages). C'est à la tendance générale de la courbe qu'il faut s'intéresser, les variations passagères étant le plus souvent dues à des impondérables (accidents climatiques principalement).

. pour le rosier : le comportement du cours supérieur de la rose baccara de 80 cm (cours pratiquement le plus élevé, les autres suivant des tracés parallèles) montre nettement une remontée des prix de vente à partir du 21 octobre jusqu'au 21 mars avec deux pointes correspondant aux fêtes de fin d'année et à la Saint-Valentin.

PLANCHE IV-1 COMPARAISON DES COURS EXTREMES DU MUFLIER (en hachuré) AUX COURS SUPERIEURS DE LA ROSE ET DE L'OEILLE A NICE EN 1970



. pour l'oeillet : le cours est beaucoup plus constant tout au long de l'année. En effet, ces deux deux espèces sont produites toute l'année mais l'oeillet est principalement utilisé dans les compositions florales ce qui implique une demande à peu près constante alors que la rose est surtout utilisée comme fleur coupée et son cours suit beaucoup plus les fluctuations de la demande :

- renforcée lors des principales fêtes.
- renforcée en période hivernale par la faible concurrence des autres espèces florales.

Quant au muflier, la période de production est limitée à la fin de l'automne, l'hiver et le printemps car durant l'été, la demande en fleurs coupées est faible. Cette espèce, annuelle, permet aux horticulteurs d'adapter la période de production aux besoins du marché.

Le cours de l'Antirrhinum suit trois phases :

- une première du 15 octobre au 15 décembre au cours faible et variable.
- une deuxième du 15 décembre au 15 février au cours élevé.
- une troisième du 15 février à la fin mai au cours moyen et soutenu.

La première phase s'explique par le fait que les variétés cultivées pour cette période ne sont pas satisfaisantes. La différence de cours entre les deux autres phases s'explique par la concurrence plus forte avec les autres espèces ornementales à partir de la mi-février (espèces bulbeuses printanières en particulier).

Durant l'hiver 77-78 (planche IV-2), on retrouve ces mêmes phases plus marquées sur le marché d'Ollioules que de Nice. Pour ce dernier, il faut souligner les importantes fluctuations des différences entre les cours extrêmes (de F 0,80 à F 2,20) selon l'importance des apports.

En conclusion, la création de variétés adaptées à une production correspondant à la première phase permettra d'obtenir des cours supérieurs aux cours actuels ainsi que le laisse supposer le cours de la rose dont le comportement est comparable à celui du muflier. En outre, ces variétés si elles s'avèrent aptes à fleurir du 15 décembre au 15 janvier, période des jours les plus courts où les cours sont élevés et les apports très réduits, trouveront une justification supplémentaire.

D'autre part, il est certain que cette création variétale doit s'accompagner d'une diversification spécifique car le marché de telles espèces est limité et son élargissement ne peut être abordé qu'avec prudence. C'est pourquoi, le programme financé par la D.G.R.S.T. et mené en collaboration avec l'I.N.R.A. et les sélectionneurs privés a porté sur plus de vingt espèces (Delphinium, Zinnia, Helianthus, Tagetes, Callistephus, Matthiola, etc...).

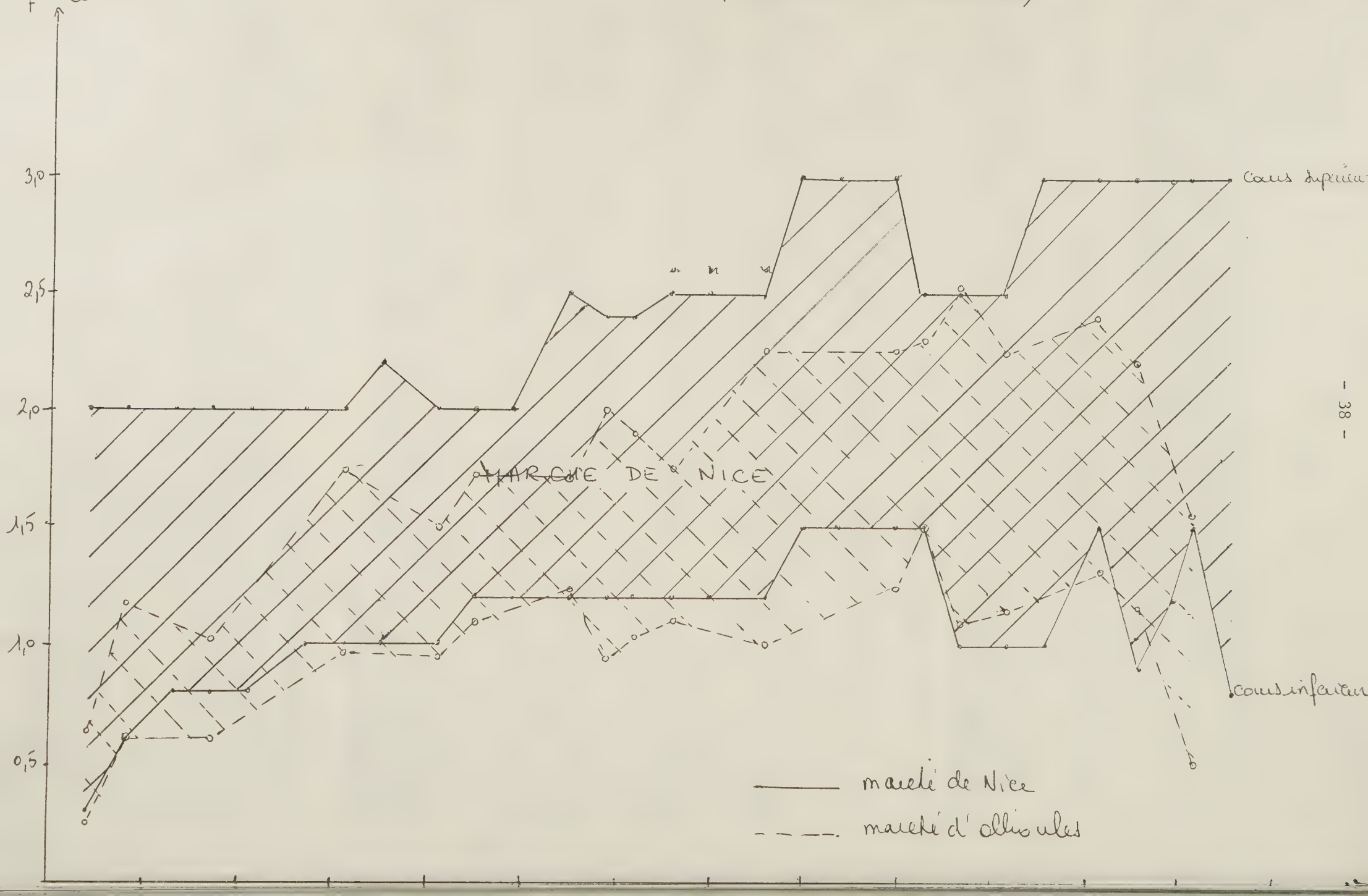
IV.1. 3 Réalisation de la collection :

Pour servir de base à cette création variétale, la nouvelle collection constituée en 1969, au contraire de la précédente, qui était une collection d'étude, comprend des variétés fortement améliorées. Recherchant l'adaptation à une floraison en jours courts et à des températures limitées, nous avons préféré retenir les variétés qui regroupaient par ailleurs, un maximum de qualités ornementales.

Ainsi, trois types de variétés ont été recherchées :

- des variétés hybrides F_1 de serre (fleurs coupées).
- des variétés hybrides F_1 de pleine terre (massifs).
- des variétés-populations de pleine terre (massifs).
  (cf. tableau A.IV.1).

PLANCHE IV-2 - COURS DU MUFLIER DURANT L'HIVER 77-78 DANS LE MIDI
(Marchés de Nice et d'Hyères)



La collection se décompose de la manière suivante :

variétés	origine	nombre	
hybrides F_1 de serre	Allemagne	7)	
	U.S.A.	28)	54
	Japon	19)	
hybrides F_1 de pleine terre	Danemark	5)	
	Suisse	14)	
	Japon	15)	49
	U.S.A.	15)	
variétés-populations de pleine terre	Danemark	5)	
	Allemagne	21)	26

Deux précisions sur ce tableau :

. le nombre de variétés existantes est nettement plus élevé du fait de nombreuses synonymies. C'est l'information apportée par les sélectionneurs privés qui nous a permis de nous limiter à la variabilité réelle proposée par les grainiers.

. chaque type variétal est commercialisé dans une gamme de coloris ce qui explique le nombre élevé des variétés.

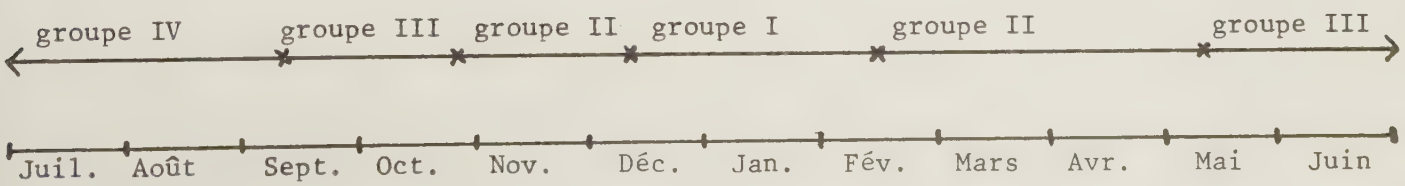
IV.1.31 Variétés hybrides F_1 de serre :

Il existe, en effet, depuis 1955 des variétés hybrides F_1 de serre créées en vue d'une production de fleurs coupées durant toute l'année ; ces travaux ont débuté aux Etats-Unis pour répondre au développement des serres et aux besoins du marché.

H. FLINT (1953, 1958, 1960) a montré qu'il était possible d'accélérer la croissance du muflier par application d'un éclairage artificiel de type photosynthétique et R.O. MILLER (1958, 1959, 1960 et 1961), étudiant les effets de la température, a mis en évidence un effet analogue des températures élevées; E.A. MAGINESS et R.W. LANGHANS (1960 et 1961) en travaillant sur les effets conjoints de la température et de la lumière ont pu déterminer des combinaisons permettant d'obtenir des floraisons tout au long de l'année en serre.

Des travaux similaires ont suivi au Japon (S. UEMOTO, 1964, 1968) et en Allemagne (W. HILLER et R. SCHELLHASE 1960, MAATSCH 1958).

Pour répondre aux différentes périodes de production, les sélectionneurs ont dû retenir plusieurs groupes variétaux ; en effet, la vitesse de croissance, et par là les qualités ornementales, des génotypes sélectionnés varient avec les conditions environnantes. La création de variétés "plastiques" c'est-à-dire répondant de façon analogue à des dates de semis échelonnées, n'apparaît réalisable que pour des périodes relativement groupées :



(d'après Georges J. BALL - Catalogue 1961)

En outre, les objectifs retenus sont sensiblement différents de ceux que nous nous sommes fixés :

. croissance - à des températures entre 16 et 18°
- avec appoint de lumière en période de jours courts et ombrage en jours longs
- sous des latitudes inférieures aux notres (variétés américaines et japonaises)

. cycle, de la graine à la floraison, de 21 semaines en moyenne pour les variétés des groupes I et II soit de 4 à 5 mois.

Les variétés retenues pour notre étude appartiennent aux groupes I, II et III.

IV.1.32 Variétés hybrides F_1 de pleine terre :

La maîtrise de la production d'hybrides F_1 pour la serre a conduit parallèlement à une création d'hybrides F_1 de pleine terre. Tous les hybrides actuels sont fabriqués manuellement ce que permet la biologie florale du muflier :

. la castration est relativement aisée puisque les étamines soudées à la corolles sont supprimées avec celle-ci (cf. planche II-1).

. la fécondation manuelle est réalisée à 24 h d'intervalle au pinceau.

. le coefficient de multiplication de cette espèce est élevé puisque une capsule après hybridation donne de 100 à 150 graines et qu'une plante peut assurer la maturation de 20 à 30 capsules.

Le problème de cette production est donc pratiquement un problème de qualification et de coût de main-d'oeuvre. Toutefois, il faut noter que l'absence de corolle, modifiant le microclimat interne de la fleur, entraîne un taux d'échec appréciable à la suite de la dessiccation prématurée du style.

IV.2 - LES OBJECTIFS RETENUS.

Les objectifs que nous avons retenus pour notre sélection sont de trois ordres :

1) obtenir une floraison durant la période et dans les conditions que nous nous sommes fixées.
2) conserver ou améliorer les qualités ornementales de la fleur coupée.
3) adjoindre des caractères permettant d'abaisser le coût de production (qualités horticoles).

IV.2. 1 La floraison :

Le premier objectif fixé est la floraison durant une période allant du 1er novembre au 15 février à l'issue d'une culture conduite en photopériode naturelle et à température limitée à 11° par temps couvert.

L'importance économique de la période choisie a été discutée précédemment.

Ces conditions environnementales ont été retenues en vue de limiter :

. les coûts d'équipement :
  - suppression des systèmes d'éclairage artificiel
  - diminution des puissances de chauffe des chaudières

. les coûts de production :
  - abaissement des consommations électriques
  - réduction des consommations en fuel

IV.2. 2 Les qualités ornementales :

Selon les normes de commercialisation de l'Antirrhinum, les qualités ornementales doivent être préservées à trois niveaux :

. la hauteur de la plante
. les qualités de l'inflorescence
. la tenue de la tige

Les mufliers sont, en effet, commercialisés selon trois catégories qui justifient les amplitudes de cours précedemment décrites.

- catégorie II : hampes florales plus ou moins bien fleuries, tiges grêles et courtes.
- catégorie I : hampes florales plus fournies, tiges un peu plus fortes et de taille moyenne.
- catégorie extra : hampes florales fournies bien colorées, tiges fortes et longues.

IV.2.21 la hauteur de la plante :

Celle-ci dépend de la hauteur de la tige et de la hauteur de l'inflorescence, cette dernière étant intégrée parmi les qualités de la hampe florale. En effet, l'objectif poursuivi étant la culture sur une seule tige qui permet la récolte en une seule coupe, la plante est cueillie coupée au ras du sol (cf. planche IV-4).

grappe
indéfinie

feuilles alternes
phyllotaxie 2/5
entre-noeuds courts

7 à 8 premiers noeuds
feuilles opposées décussées
entre-noeuds longs

traces cotylédonaires

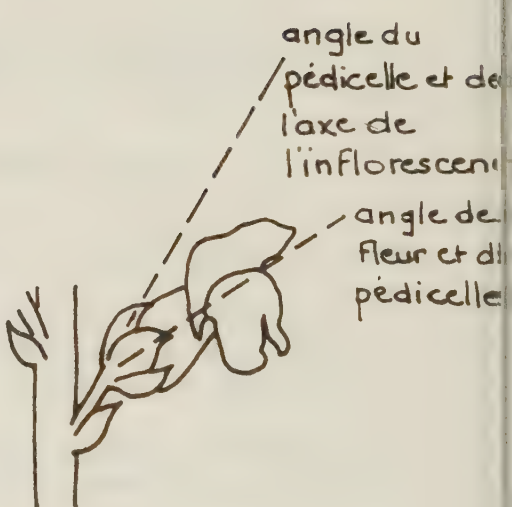
système radiculaire
ramifié

lèvre supérieure

lèvre inférieure

tube

FLEUR DE FACE



angle du
pédicelle et de
l'axe de
l'inflorescen

angle de
fleur et d
pédicelle

FLEUR DE PROFIL

PLANCHE IV - 4 MORPHOLOGIE DE L'ANTIRRHINUM

La hauteur des plantes (inflorescence comprise), pour les hybrides, varie de 1 m à 1 m 60.

IV.2.22 les qualités de l'inflorescence :

Le muflier est présenté au consommateur au stade où les 2/3 de l'inflorescence sont épanouis c'est-à-dire où celle-ci a pratiquement atteint sa taille et sa forme définitive. C'est donc à ce stade que doivent être jugées ses qualités : elles relèvent du coloris, de la forme, de la taille et de la conformation de la grappe (IV-3).

- le coloris : le goût du consommateur évolue sur ce point constamment. Il est donc souhaitable de maintenir une gamme étendue ; toutefois, elle se limite pratiquement aux coloris francs, la demande étant stable sur ce point.

- la forme : la hampe florale doit conserver son aspect indéfini donc se terminer par un groupe de boutons floraux afin de poursuivre son épanouissement chez le consommateur. Les grappes en fuseau sont préférées aux grappes cylindriques.

- la taille : celle-ci est variable, les hampes les plus longues sont les plus prisées tout en conservant l'équilibre entre la longueur de la tige foliée et celle de l'inflorescence.

- la conformation souhaitée associe la compacité et la souplesse de la grappe. Il faut donc rejeter les cas où les spirales florales se détachent nettement et où les inflorescences sont verticillées. D'autre part, la densité (nombre de fleurs/longueur de l'inflorescence) doit être importante sans être trop forte : une densité moyenne de 1 (1 fleur/1 cm) est souhaitable.

IV.2.23 la tenue de la tige :

Cet objectif n'a pu être retenu car la sélection imposant l'individualisation des génotypes, chaque plante a du être tuteurée rendant tout jugement difficile.

Toutefois, ce caractère est jugé lors du choix définitif des hybrides à commercialiser puisque leur jugement est réalisé dans les conditions de production (filet à maille carrée 12,5 cm x 12,5 cm).

IV.2. 3 Les qualités horticoles :

Des caractères permettant d'abaisser les coûts de production, ont été retenus :

- le groupement de la floraison
- le raccourcissement du cycle
- l'absence de ramification

IV.2.31 le groupement de la floraison :

Le groupement de la floraison est important puisqu'il permet à l'horticulteur une cueillette régulière et par là la programmation de sa production.

En fait, ce caractère s'exprime principalement par la variance de la floraison. Ainsi, la sélection pour la floraison entraînera la décroissance de sa variance avec les générations de fixation jusqu'à une valeur limite (variance due au milieu).

En outre, doit être recherchée la "plasticité" c'est-à-dire la faculté pour un même génotype de répondre par une longueur de cycle comparable à différentes dates de semis. Ce caractère n'a pu être retenu dans notre étude compte tenu de la faiblesse de notre superficie d'étude. Toutefois, ce caractère entre dans le jugement des hybrides F_1; c'est lui qui permettra en fait à l'horticulteur d'échelonner

IV-3 FORME ET CONFORMATION DE L'INFLORESCENCE SOUHAITABLES.

IV-5. TABLEAU DES CORRESPONDANCES DES FLORAISONS EN JOURS UNITES DE 8 H 15 MN SELON LA DATE DE SEMIS

(1) cycle 100 jours réels
(2) cycle 145 jours réels

Dates de floraison \ Campagne date de semis		69 I 7.8.69		70 II 1.9.70		72 II 21.8.72		76 I 3.8.76	Dates de floraison	
Octobre	25	125		83		100		133	25	Octobre
	28	129		87		104		137	28	
Novembre	1	132		90		107		140	1	Novembre
	4	136		94		111		144	4	
	7	139		97		114		147	7	
	10	142		100		117		150	10	
	13	145		103		120		153	13	
	16	148		106		123		156	16	
	19	151		109		126		159	19	
	22	154		112		129	(1)	163	22	
	25	157		115		132		165	25	
	28	160		118		135		168	28	
	30	162		120		137		170	30	
Décembre	3	165	(1)	123		140		173	3	Décembre
	6	168		126		143		176	6	
	9	171		129		146		179	9	
	12	173		131		148		182	12	
	15	176		134		151		184	15	
	18	179		137		154		187	18	
	21	181		139	(1)	156		189	21	
	24	184		142		159		193	24	
	27	187		145		162		195	27	
	30	190		148		165		198	30	
Janvier	2	192		150		167		200	2	Janvier
	5	195		153		170	(2)	203	5	
	8	198		156		173		206	8	
	11	201		159		176		209	11	
	14	204		162		179		212	14	
	17	207	(2)	165		182		215	17	
	20	210		168		185		218	20	
	23	213		171		188		221	23	
	26	216		174		191		224	26	
	29	219		177		194		227	29	
Février	1	222		180		197		230	1	Février
	4	225		183	(2)	200		233	4	
	7	228		186		203		236	7	
	10	232		190		207		240	10	
	13	235		193		210		243	13	
	16	239		197		214		247	16	
	19	242		200		217		250	19	
	22	245		203		220		253	22	
	25	249		207		224		257	25	
	28	252		210		227		260	28	
Mars	3	255		213		230		263	3	Mars
	6	259		217		234		267	6	
	9	262		220		237		270	9	
	12	266		224		241		274	12	

IV.2.32 le raccourcissement du cycle :

Le raccourcissement du cycle permet une économie de fuel et d'électricité d'autant plus appréciable qu'il joue sur les mois les plus froids donc pour lesquels la consommation est la plus forte.

IV.2.33 l'absence de ramification :

Les mufliers sont conditionnés en bottes protégées pour le transport par un fourreau de P.V.C.; les tiges ne doivent donc présenter aucune ramification. Pour cela, les horticulteurs pratiquent pendant toute la culture en trois ou quatre fois un ébourgeonnage suppression de toutes les ramifications axillaires en début de développement. Cette opération longue et rendue fréquente en fonction de l'importance des plantations et de leur rythme de succession est très onéreuse pour le producteur.

L'Antirrhinum présente une dominance apicale plus ou moins marquée. La sélection de génotypes montrant une très forte dominance apicale jusqu'à la floraison permettrait de supprimer les interventions en culture. (cf. IV - 4).

Remarque : Comme il a été précisé au chapitre III, l'adaptation à des latitudes différentes de celles de Versailles a été envisagée. La sélection pour ce caractère n'a pu être réalisée en raison des importants moyens qu'elle aurait nécessité. Toutefois, ce comportement a pu être observé en cours de sélection à l'aide d'essais comparatifs de lignées (Alenya, Saint-Pol-de-Léon); il est jugé en fin de cycle au stade hybrides F_1 (Versailles, Valence, Brétigny, Angers).

IV.3 - LES CARACTERES ANALYSES.

IV.3.1 La floraison : *Dans la suite de l'étude, le terme floraison est utilisé pour caractériser la longueur du cycle semis-floraison. Il a été choisi pour sa concision et afin d'éviter des confusions avec les autres cycles caractéristiques de l'espèce.*

Classiquement, la durée d'un cycle est mesurée par une somme des températures diurnes. Ici, la température étant considérée comme constante, la floraison sera mesurée par la durée de l'éclairement diurne sans tenir compte de l'intensité de l'éclairement.

Pratiquement, on note la date de floraison c'est-à-dire l'épanouissement de la première fleur à la base de l'inflorescence, différente selon les dates de semis. On obtient la durée de l'éclairement en se référant à des tables (cf. tableau IV - 5). Ces tables sont établies en prenant pour base les mesures de la longueur du jour à Versailles (cf. tableau A. III - 1) et pour unité la longueur moyenne du jour en décembre soit 8 h 15 mn. (Y. MITTEAU - 1974). Les valeurs portées sur le tableau IV - 5 sont donc des durées d'éclairement diurne mesurées en jours constants de 8 h 15 mn.

Normalité de la variable

Pour pouvoir fonder des comparaisons, il nous faut juger la normalité de la variable ; pour cela il faut disposer d'échantillons dont les individus ont été prélevés au hasard et indépendamment les uns des autres (échantillon simple) dans une population infinie qui est dans notre cas la population des mufliers aptes à fleurir durant la période des jours courts. Or, nous ne possédons pas une telle population mais les sous-ensembles que sont les variétés sélectionnées jugées en I_0.

Pour recréer une variabilité, nous avons jugé la distribution des comportements de tous les génotypes appartenant à un même type variétal et issus d'une même origine commerciale c'est-à-dire ayant subi une sélection comparable :

1) les variétés F_1 américaines
2) les variétés F_1 japonaises

IV - 6. TESTS DE NORMALITE DE LA DISTRIBUTION DE LA FLORAISON

. variétés F_1 américaines (I_0)

classes	centres de classe x	effectif n	variable après changement d'origine x'	nx'	nx'^{2}	nx'^{3}	nx'^{4}	fréquences cumulées N
30-134,9	132,5	3	- 25	- 75	1 875	- 46 875	1 171 875	0,01
35-139,9	137,5	14	- 20	- 280	5 600	- 112 000	2 240 000	0,04
40-144,9	142,5	33	- 15	- 495	7 425	- 111 375	1 670 625	0,13
45-149,9	147,5	64	- 10	- 640	6 400	- 64 000	640 000	0,29
50-154,9	152,5	66	- 5	- 330	1 650	- 8 250	41 250	0,47
55-159,9	157,5	68	0	0	0	0	0	0,64
60-164,9	162,5	40	5	200	1 000	5 000	25 000	0,75
65-169,9	167,5	27	10	270	2 700	27 000	270 000	0,82
70-174,9	172,5	33	15	495	7 425	111 375	1 670 625	0,90
75-179,9	177,5	27	20	540	10 800	216 000	4 320 000	0,97
80-184,9	182,5	6	25	150	3 750	93 750	2 343 750	0,99
85-189,9	187,5	3	30	90	2 700	81 000	2 430 000	0,99
90-194,9	192,5	2	35	70	2 450	85 750	3 001 250	1,00
TOTAUX		386		- 5	53 775	277 375	19 824 375	

venne $\bar{x} = 157,49$
riance $S_x^2 = 139,67$ (Sx = 11,82)
ment d'ordre 3 $m_3 = 725,88$
ment d'ordre 4 $m_4 = 51\,529,35$

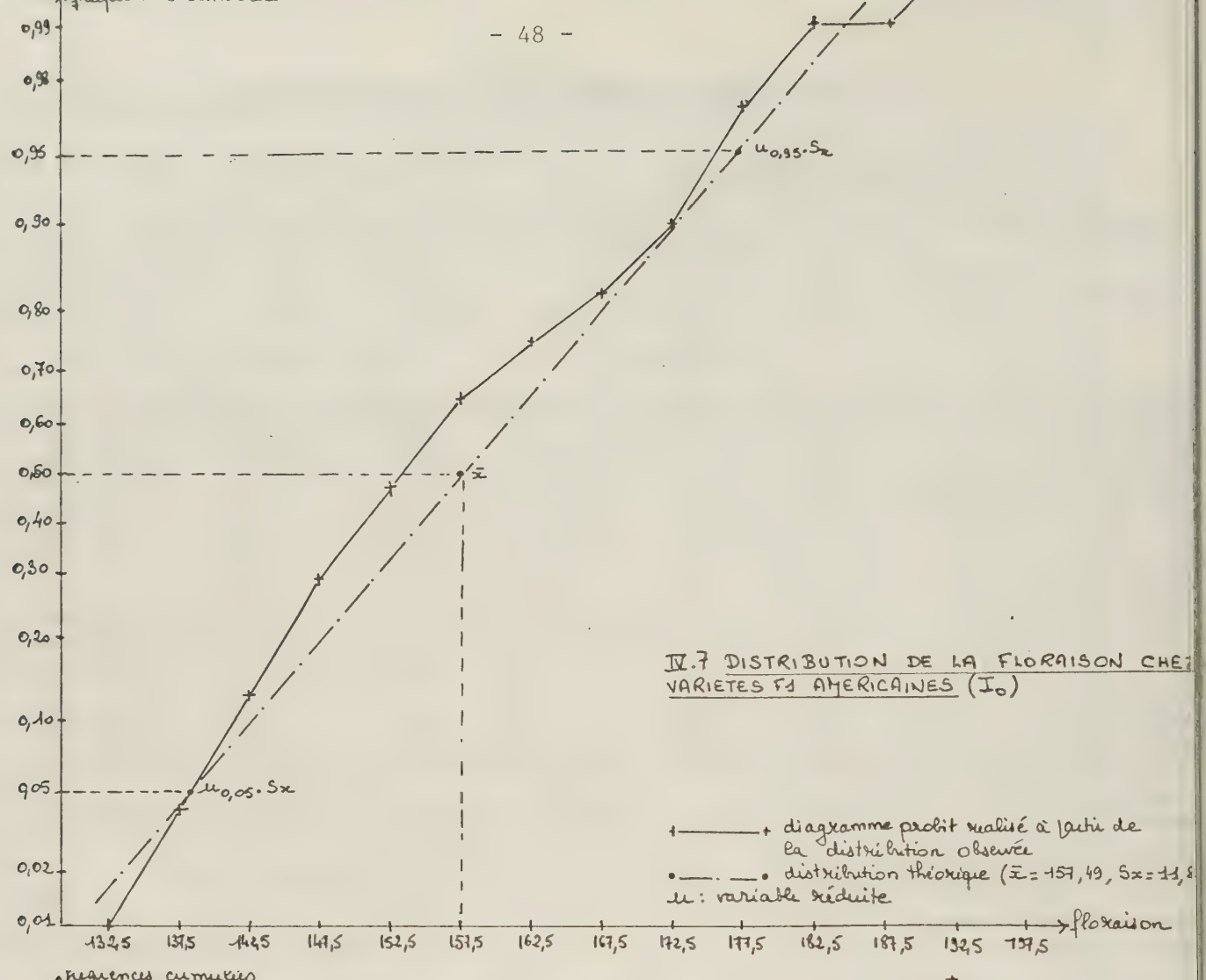
coefficients de PEARSON :
$b_1 = m_3^2/S_x^6 = 0,19$ (H.S.)
$b_2 = m_4/S_x^4 = 2,64$ (N.S.)

. variétés F_1 japonaises (I_0)

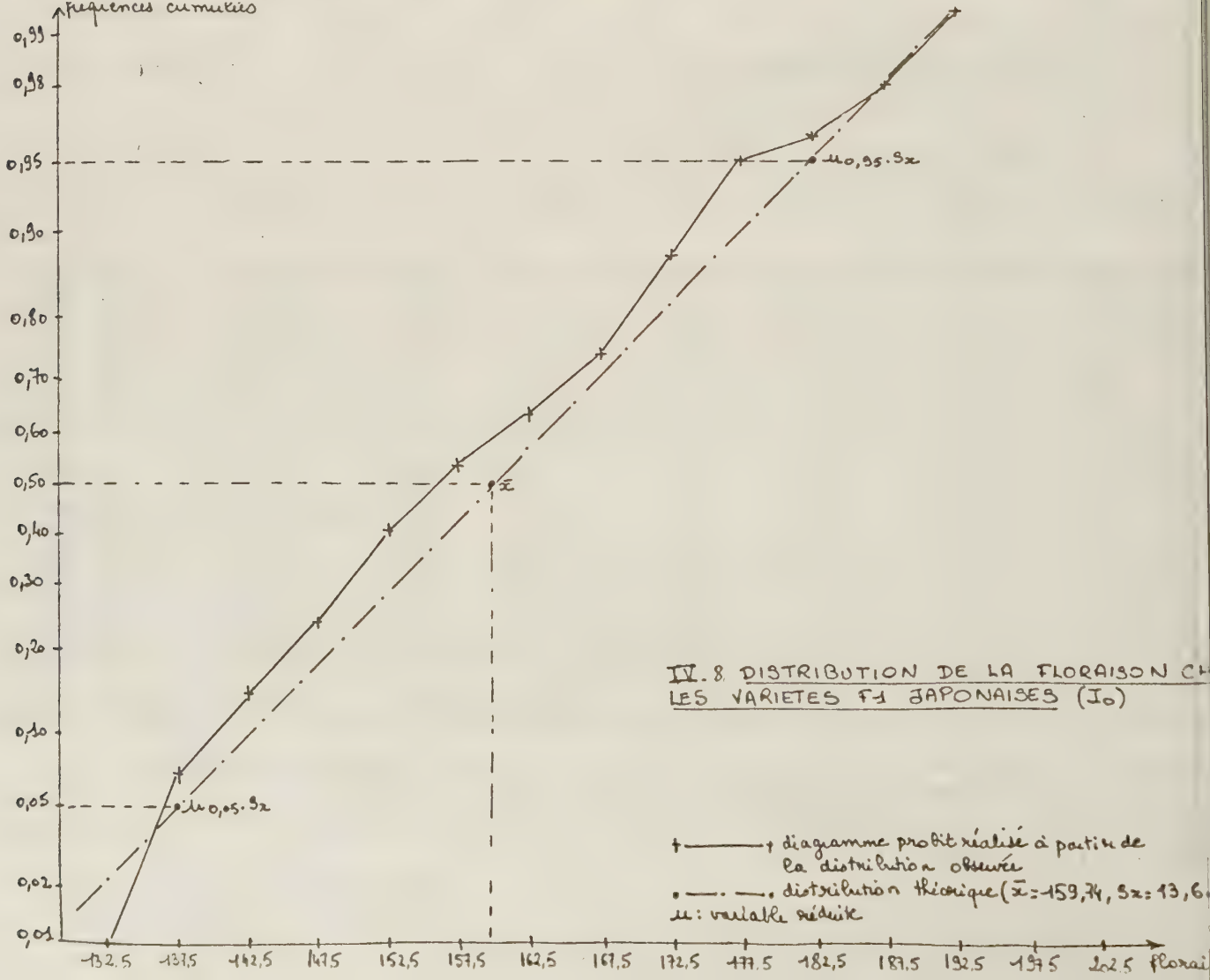
classes	centres de classe x	effectif n	variable modifiée x'	nx'	nx'^{2}	nx'^{3}	nx'^{4}	fréquences cumulées N
125-129,9	127,5	1	- 30	- 30	900	- 27 000	810 000	0,00
130-134,9	132,5	3	- 25	- 75	1 875	- 46 875	1 171 875	0,01
135-139,9	137,5	15	- 20	- 300	6 000	- 120 000	2 400 000	0,07
100-144,9	142,5	17	- 15	- 255	3 825	- 57 375	860 625	0,14
145-149,9	147,5	29	- 10	- 290	2 900	- 29 000	290 000	0,25
150-154,9	152,5	39	- 5	- 195	975	- 4 875	24 375	0,40
155-159,9	157,5	35	0	0	0	0	0	0,53
160-164,9	162,5	25	5	125	625	3 125	15 625	0,63
165-169,9	167,5	30	10	300	3 000	30 000	300 000	0,75
170-174,9	172,5	33	15	495	7 425	111 375	1 670 625	0,88
175-179,9	177,5	18	20	360	7 200	144 000	2 880 000	0,95
180-184,9	182,5	2	25	50	1 250	31 250	781 250	0,96
185-189,9	187,5	5	30	150	4 500	135 000	4 050 000	0,98
190-194,9	192,5	7	35	245	8 575	300 125	10 504 375	1,00
TOTAUX		259		580	49 050	469 750	25 758 750	

venne $\bar{x} = 159,74$
riance $S_x^2 = 185,08$ (Sx = 13,60)
ment d'ordre 3 $m_3 = 566,05$
ment d'ordre 4 $m_4 = 89\,175,49$

coefficients de PEARSON :
$b_1 = 0,05$ (N.S.)
$b_2 = 2,60$ (N.S.)



IV.7 DISTRIBUTION DE LA FLORAISON CHEZ VARIETES F1 AMERICAINES (I_o)



IV.8 DISTRIBUTION DE LA FLORAISON CHEZ LES VARIETES F1 JAPONAISES (I_o)

Les distributions de la floraison sont présentées dans les tableaux IV -6 . Les représentations graphiques sous forme de diagrammes probit ou droite de Henri (planches IV -7 et IV -8) sont proches de la droite théorique, représentation de la distribution normale tracée à partir des paramètres calculés des échantillons :

- planche IV - 7 : variétés F_1 américaines :
  moyenne : $\bar{x}$ = 157,49
  écart-type : Sx = 11,82
- planche IV - 8 : variétés F_1 japonaises :
  moyenne : $\bar{x}$ = 159,74
  écart-type : Sx = 13,60

La quasi-linéarité de l'un et l'autre des diagrammes, en tout cas l'absence de concavités indique un comportement gaussien de la variable (P. DAGNELIE - 1970).

Pour plus de précision, nous nous sommes intéressés aux moments de troisième et de quatrième ordre qui permettent par le calcul des coefficients de PEARSON de juger la dissymétrie et l'aplatissement de la distribution (fréquences non cumulées). (G.W. SNEDECOR et W.G. COCHRAN - 1967). Les valeurs des coefficients de PEARSON sont pour une distribution normale : $b_1 = 0$, $b_2 = 3$. Les valeurs calculées figurent au tableau IV -6 , elles sont comparées à des tables de valeurs critiques établies par PEARSON.

La dissymétrie (coefficient b_1) est hautement significative dans la population américaine, par contre, elle ne l'est pas dans la population japonaise. Ceci s'explique par le choix des variétés pour constituer la collection I_0, qui a été fait au sein de l'un et l'autre groupe et qui n'est pas représentatif de la variabilité complète en ce qui concerne ce caractère.

Par contre, l'aplatissement (coefficient b_2) se révèle dans l'un et l'autre cas non significatif la distribution des fréquences calquant sa forme sur une distribution normale (existence d'un point d'inversion des concavités).

Nous considérerons donc dans la suite la floraison comme une variable normale.

IV.3.2 La hauteur :

La variable analysée est la hauteur de la tige,caractéristique déterminée dès la floraison ; l'élongation se poursuivant ensuite au niveau de l'inflorescence.

La hauteur est la distance mesurée en centimètres du sol jusqu'à la première fleur épanouie, donc la base de la hampe florale. Les hauteurs, longueurs et autres variables à une dimension sont généralement considérées comme des variables gaussiennes. Toutefois, nous avons testé la normalité de sa distribution pour juger de nouveau le comportement des populations I_0.

D'ailleurs, ce caractère qui a subi une pression de sélection faible, puisque nous cherchions à conserver la hauteur moyenne de la lignée, nous a servi essentiellement de variable-test par la suite pour juger du matériel et des méthodes, notamment dans sa liaison avec la floraison.

Normalité de la variable

La distribution de la hauteur dans les deux échantillons précédemment retenus est présentée dans le tableau IV - 9 ce qui nous conduit à tracer les diagrammes IV - 10 et IV - 11 et les distributions théoriques à partir des paramètres calculés :

- planche IV - 10 : variétés F_1 américaines
  moyenne $\bar{y}$ = 69,88
  écart-type Sy = 15,05

- planche IV - 11 : variétés F_1 japonaises
  moyenne $\bar{y}$ = 68,79
  écart-type Sy = 12,93

IV - 9. TESTS DE NORMALITE DE LA DISTRIBUTION DE LA HAUTEUR

. variétés F_1 américaines (I_0)

classes	centres de classe y	effectif n	variable après changement d'origine y'	ny'	ny'²	ny'³	ny'⁴	fréquences cumulées N
40-44,9	42,5	5	- 25	- 125	3 125	- 78 125	1 953 125	0,01
45-49,9	47,5	11	- 20	- 220	4 400	- 88 000	1 760 000	0,04
50-54,9	52,5	50	- 15	- 750	11 250	- 168 750	2 531 250	0,17
55-59,9	57,5	45	- 10	- 450	4 500	- 45 000	450 000	0,29
60-64,9	62,5	58	- 5	- 290	1 450	- 7 250	36 250	0,44
65-69,9	67,5	48	0	0	0	0	0	0,56
70-74,9	72,5	46	5	230	1 150	5 750	28 750	0,68
75-79,9	77,5	30	10	300	3 000	30 000	300 000	0,76
80-84,9	82,5	28	15	420	6 300	94 500	1 417 500	0,83
85-89,9	87,5	23	20	460	9 200	184 000	3 680 000	0,89
90-94,9	92,5	15	25	375	9 375	234 375	5 859 375	0,93
95-99,9	97,5	9	30	270	8 100	243 000	7 290 000	0,95
100-104,9	102,5	8	35	280	9 800	343 000	12 005 000	0,97
105-109,9	107,5	6	40	240	9 600	384 000	15 360 000	0,99
110-114,5	112,5	4	45	180	8 100	364 500	16 402 500	1,00
TOTAUX		386		920	89 350	1 496 000	69 073 750	

moyenne $\bar{y} = 69,88$
variance $S_y^2 = 226,38$ ($S_y = 15,05$)
moment d'ordre 3 $m_3 = 2\ 253,45$
moment d'ordre 4 $m_4 = 150\ 180,29$

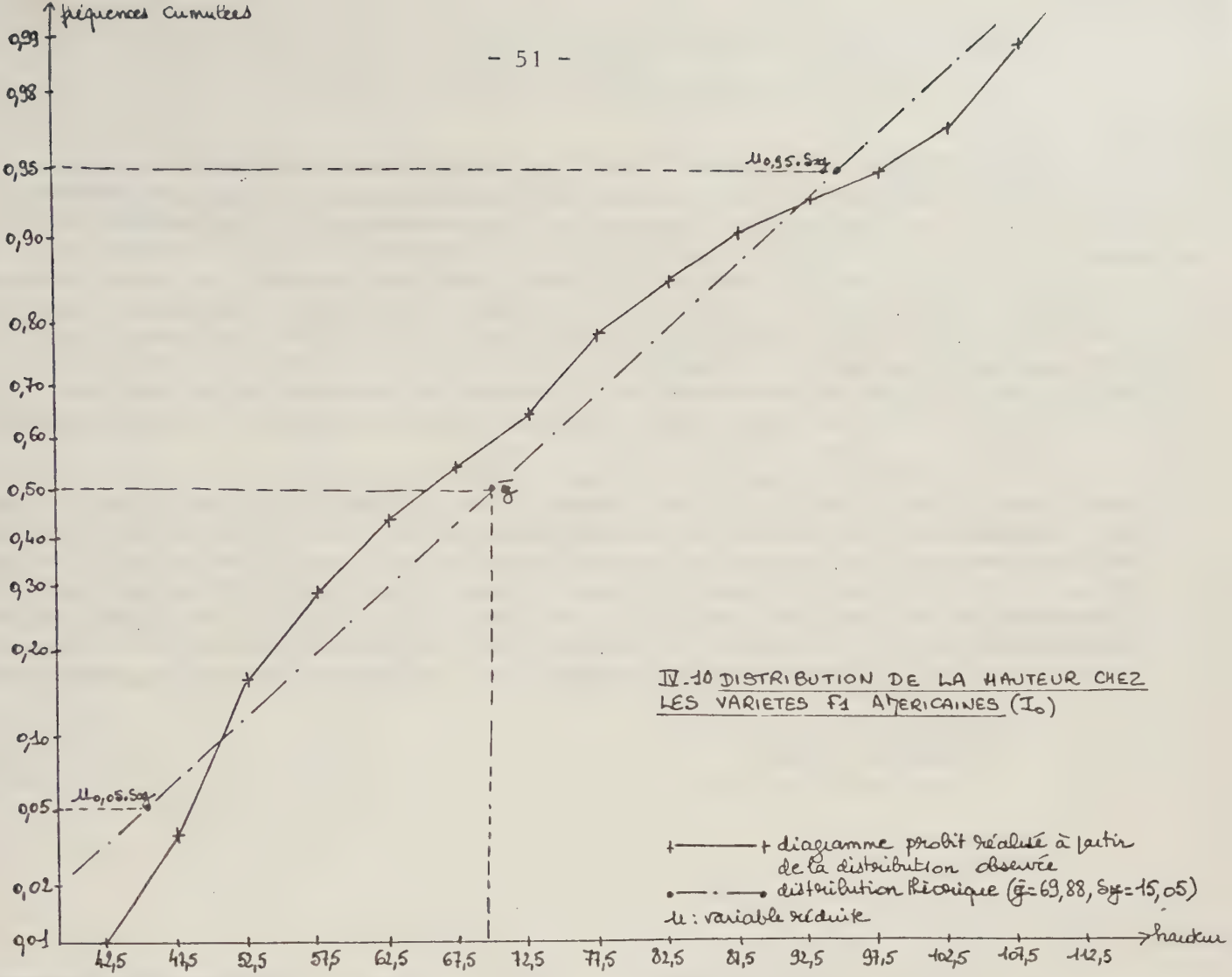
coefficients de PEARSON :
$b_1 = m_3^2/S_y^6 = 0,44$ (H.S.)
$b_2 = m_4/S_y^4 = 2,93$ (N.S.)

. variétés F_1 japonaises (I_0)

classes	centres de classe y	effectif n	variable modifiée y'	ny'	ny'²	ny'³	ny'⁴	fréquences cumulées N
40-44,9	42,5	3	- 25	- 75	1 875	- 46 875	1 171 875	0,01
45-49,9	47,5	21	- 20	- 420	8 400	- 168 000	3 360 000	0,09
50-54,9	52,5	22	- 15	- 330	4 950	- 74 250	1 113 750	0,18
55-59,9	57,5	22	- 10	- 220	2 200	- 22 000	220 000	0,26
60-64,9	62,5	33	- 5	- 165	825	- 4 125	20 625	0,39
65-69,9	67,5	37	0	0	0	0	0	0,53
70-74,9	72,5	34	5	170	850	4 250	21 250	0,66
75-79,9	77,5	28	10	280	2 800	28 000	280 000	0,77
80-84,9	82,5	28	15	420	6 300	94 500	1 417 500	0,88
85-89,9	87,5	23	20	460	9 200	184 000	3 680 000	0,97
90-94,9	92,5	5	25	125	3 125	78 125	1 953 125	0,99
95-99,9	97,5	3	30	90	2 700	81 000	2 430 000	1,00
TOTAUX		259		335	43 560	154 625	15 668 125	

moyenne $\bar{y} = 68,79$
variance $S_y^2 = 167,16$ ($S_y = 12,93$)
moment d'ordre 3 $m_3 = -51,47$
moment d'ordre 4 $m_4 = 59\ 314,76$

coefficients de PEARSON :
$b_1 = 6 \times 10^{-4}$ (N.S.)
$b_2 = 2,12$ (H.S.)

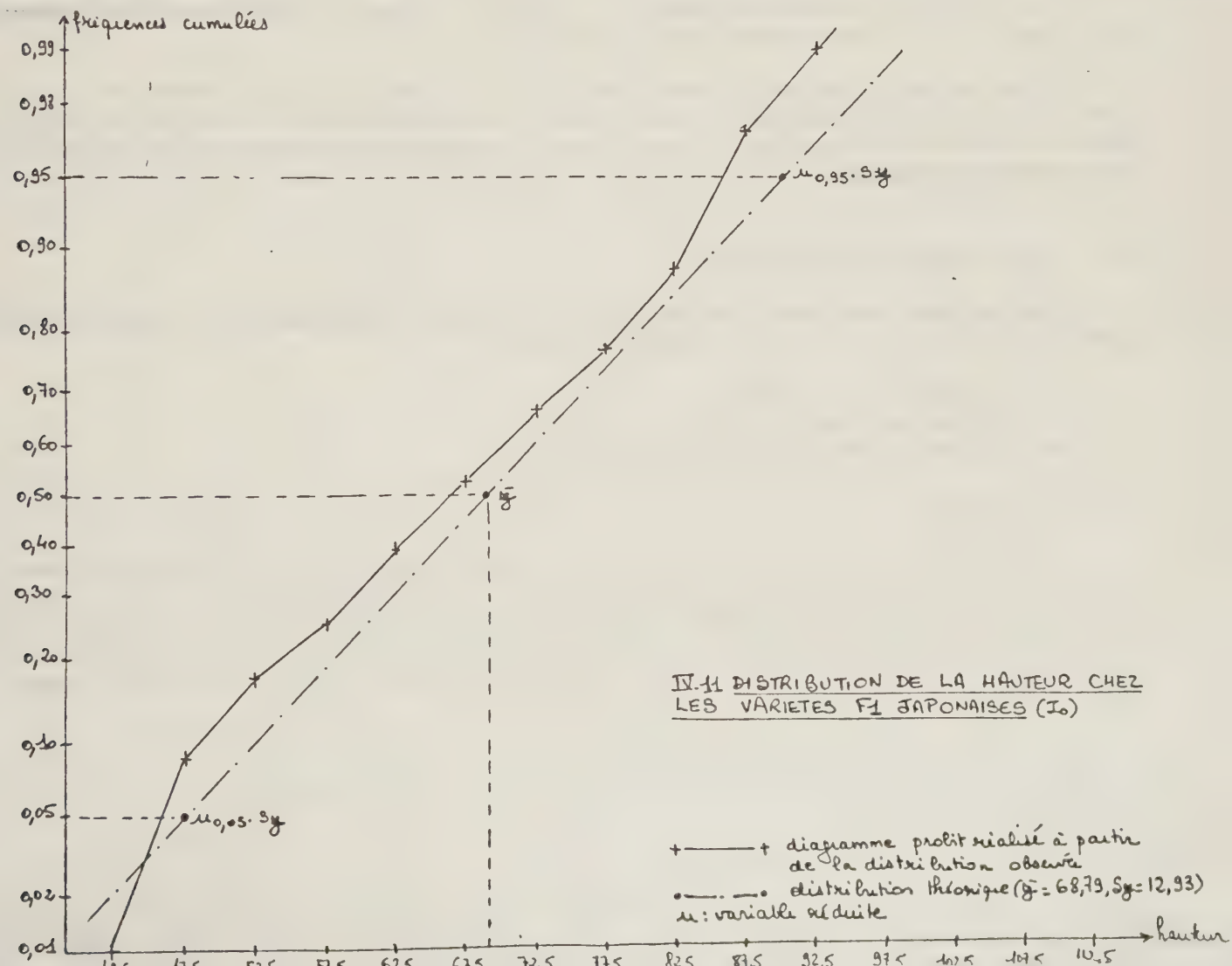


IV.10 DISTRIBUTION DE LA HAUTEUR CHEZ LES VARIETES F1 AMERICAINES (I_o)

+——+ diagramme probit réalisé à partir de la distribution observée

•—·—• distribution théorique ($\bar{y}$=69,88, $S_{\bar{y}}$=15,05)

u : variable réduite



IV.11 DISTRIBUTION DE LA HAUTEUR CHEZ LES VARIETES F1 JAPONAISES (I_o)

+——+ diagramme probit réalisé à partir de la distribution observée

•—·—• distribution théorique ($\bar{y}$ = 68,79, $S_{\bar{y}}$ = 12,93)

u : variable réduite

L'allure du premier diagramme (IV-10) est sensiblement différente de celle de l'autre et des précédents. Ce phénomène déjà esquissé pour la floraison, vient du fait que chez les variétés américaines on a observé quelques individualités de très grande taille ce qui n'est pas le cas chez les japonaises. Ce fait se traduit par une valeur de l'écart-type nettement plus élevée ; dans le diagramme, la courbe observée se termine en-dessous de la courbe théorique sans que l'on ait pour autant à faire à un modèle de distribution différent. Le coefficient b_1 de PEARSON, hautement significatif, confirme cette dissymétrie ; comme pour la floraison, l'échantillon des variétés américaines n'est pas représentatif de la variabilité complète de ce caractère. (Le coefficient b_2 n'est pas significatif indiquant une distribution de forme gaussienne).

Dans les variétés F_1 japonaises, nous observons la symétrie de la distribution : coefficient b_1 non significatif. Par contre, l'aplatissement est révélé par un coefficient b_2 hautement significatif ; cette déformation est liée à l'existence d'effectifs excédentaires dans les catégories intermédiaires (45-55 cm et 80-90 cm). Cela s'explique par la coexistence dans ce groupe de deux origines génétiques différentes classées par l'obtenteur en variétés précoces (I) et variétés tardives (II) et qui présentent des comportements bien différenciés. Le tableau A.IV-1 permet de les mettre en évidence dès la floraison mais ils apparaissent nettement pour la hauteur puisque les paramètres sont

- pour le groupe I :
  moyenne $\bar{y}$ = 63,21
  écart-type Sy : 12,97

- pour le groupe II :
  moyenne $\bar{y}$ = 75,53
  écart-type Sy = 9,42

Si le groupe II est analysé seul (cf. IV-12), la hauteur suit une distribution normale (symétrie et aplatissement non significatifs).

En conclusion, il apparaît donc très difficile dans ce type d'étude de trouver des échantillons véritablement simples et aléatoires sans recourir à des moyens artificiels (tables de nombres aléatoires). Pour la suite, nous considérerons que la hauteur est une variable gaussienne.

IV.3.3 Les caractères qualitatifs :

Outre les deux variables analysées, des caractères qualitatifs ou jugés qualitativement ont été notés et sélectionnés. Il s'agit :

- de la couleur de la fleur
- du port de la plante
- de l'allure globale de l'inflorescence

IV.3.31 couleur

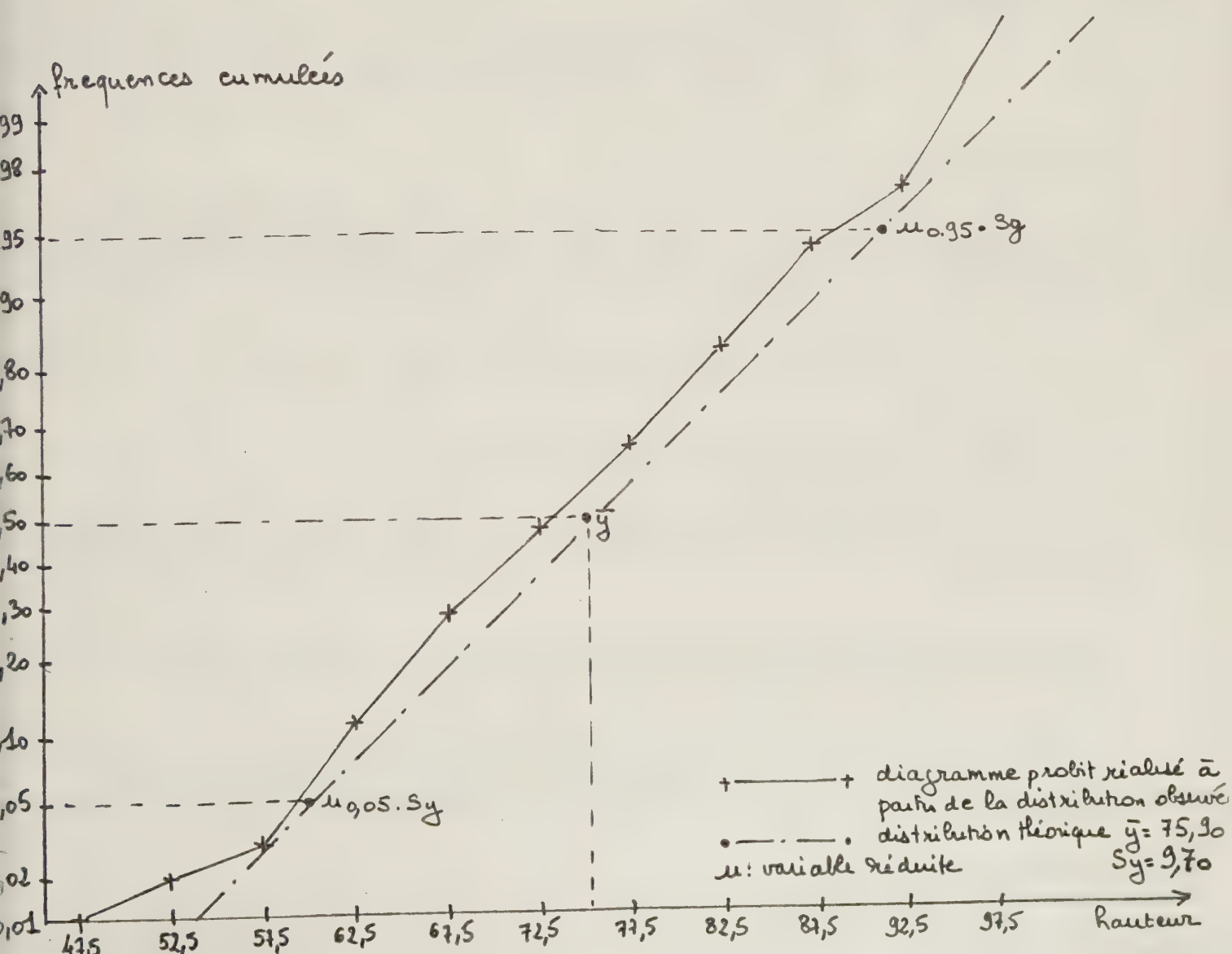
La gamme des couleurs de fleurs chez l'*Antirrhinum* s'élargit considérablement lorsqu'on passe aux hybrides F_1, certains coloris ne s'exprimant qu'à l'état hétérozygote. De ce fait, nous avons noté la couleur afin de conserver dans les lignées la palette des teintes possibles et de rejeter les génotypes où le coloris ne s'exprimait pas sur certaines parties de la fleur (lèvres décolorées, tube pourpre par rapport à un coloris récessif, etc...).

IV- 12. TEST DE NORMALITE DE LA DISTRIBUTION DE LA HAUTEUR EN I_0 : VARIETES F_1 JAPONAISES TARDIVES (II)

classes	centres de classe y	effectif n	variable après changement d'origine y'	ny'	ny'2	ny'3	ny'4	fréquences cumulées N
45-49,9	47,5	1	- 25	- 25	625	- 15 000	390 625	0,01
50-54,9	52,5	2	- 20	- 40	800	- 16 000	320 000	0,02
55-59,9	57,5	1	- 15	- 15	225	- 3 375	50 625	0,03
60-64,9	62,5	10	- 10	- 100	1 000	- 10 000	100 000	0,12
65-69,9	67,5	19	- 5	- 95	475	- 2 375	11 875	0,28
70-74,9	72,5	23	0	0	0	0	0	0,47
75-79,9	77,5	21	5	105	525	2 625	13 125	0,65
80-84,9	82,5	22	10	220	2 200	22 000	220 000	0,83
85-89,9	87,5	13	15	195	2 925	43 875	658 125	0,94
90-94,9	92,5	3	20	60	1 200	24 000	480 000	0,97
95-99,9	97,5	4	25	100	2 500	62 500	1 562 500	1,00
TOTAUX		119		405	12 475	107 625	3 806 875	

venne $\bar{y}$ = 75,90
riance S^2 y = 94,04 (Sy = 9,70)
ment d'ordre 3 m_3 = - 87,83
ment d'ordre 4 m_4 = 26 786,52

coefficients de PEARSON :
$b_1 = 9 \times 10^{-3}$ (N.S.)
b_2 = 3,03 (N.S.)



IV.3.32 port de la plante

Ainsi que nous l'avons vu, nous avons recherché des génotypes à forte dominance apicale et, de ce fait, nous avons été conduits à noter la ramification ; nous avons choisi de le faire qualitativement.

Le port est jugé au stade défini précédemment (première fleur épanouie). Nous avons différencié les phénotypes suivants :

- unicaulis : aucun développement des bourgeons axillaires ou s'il existe, l'élongation n'excède pas 2 cm.

- unicaulis à pyramidal : dans ce type, sont classées les plantes présentant un début de développement des bourgeons axillaires à la base de la plante. Il s'agit donc des cas où la plante peut être commercialisée en supprimant, après la récolte, ces ramifications.

- pyramidal à unicaulis : ce type regroupe deux cas observés. La levée de la dominance apicale plus précoce que dans le type précédent induit des ramifications sur près de 50 % de la tige, celles-ci sont basales ; mais on observe aussi des ramifications apicales. Dans un cas comme dans l'autre, il faut un ébourgeonnage en culture pour envisager une production de ce type de plantes.

- pyramidal : dans ce cas, la plante caractérisée par une faible dominance apicale est ramifiée sur au moins 75 % de l'axe principal. Il faut noter que dans les variétés cultivées en pleine terre, on observe des cultivars nains ne manifestant aucune dominance apicale et présentant un synchronisme de floraison pour tous les axes.

IV.3.33 allure globale de l'inflorescence

Les qualités de l'inflorescence peuvent être mesurées par différentes variables mais comme pour le port, nous pouvons définir le phénotype optimal. L'oeil est capable d'intégrer les différentes composantes qui déterminent l'allure de l'inflorescence. C'est pourquoi ce caractère a été jugé qualitativement.

Ce sont en fait les écarts par rapport au phénotype optimal qui ont été notés et qui ont servi de base à la sélection pour ce caractère.

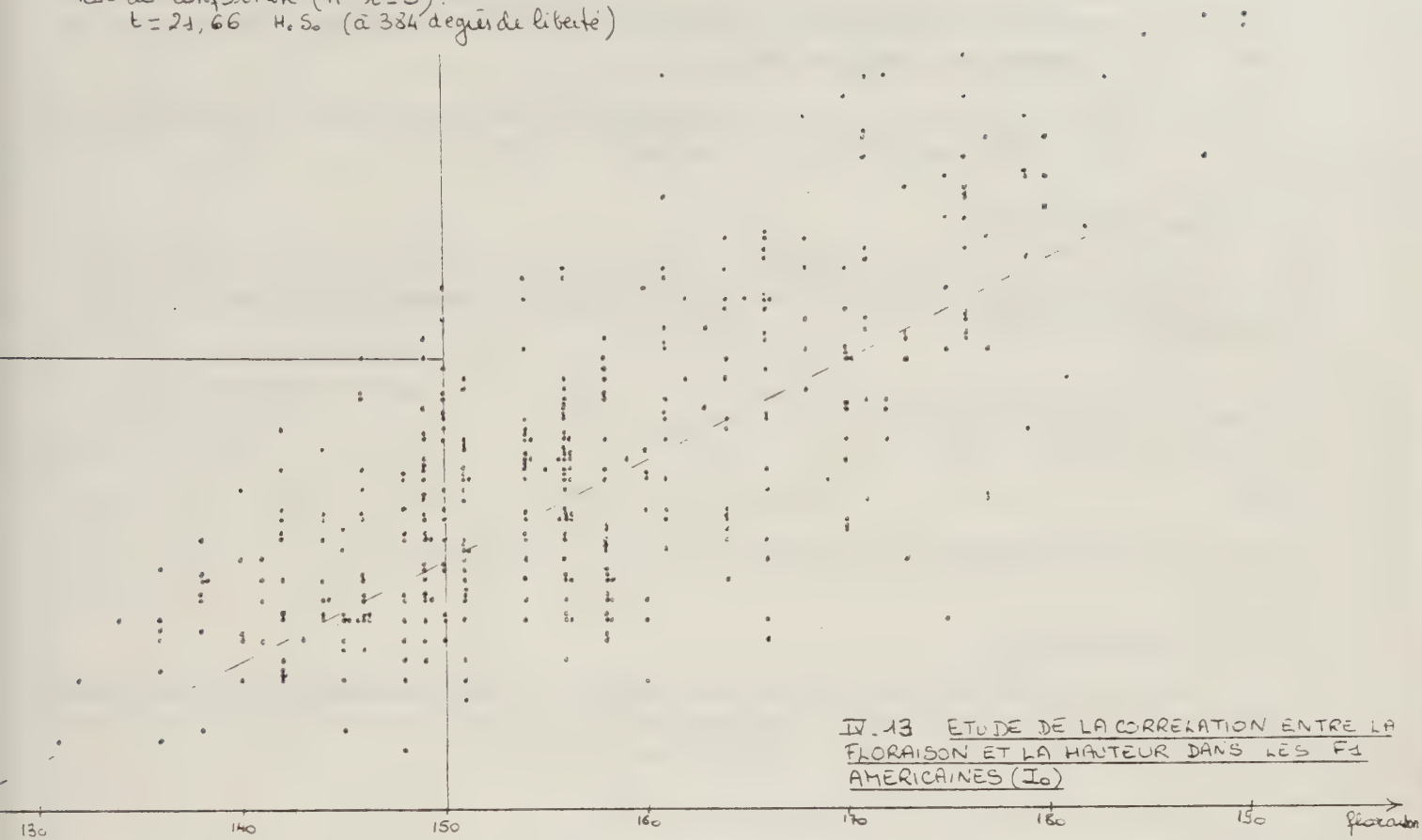
IV.3.4 Mise en évidence d'une liaison hauteur-floraison :

Parmi tous les caractères qui viennent d'être décrits, c'est la floraison et la hauteur qui sont les critères fondamentaux de l'étude comparative des processus de diversification. C'est pourquoi nous avons analysé plus particulièrement leurs interactions.

Nous avons vu précédemment (paragraphe III-I-21) qu'à basses températures, l'Antirrhinum était neutre vis-à-vis de la longueur du jour et que le stade d'induction florale dépendait du développement de la plante.

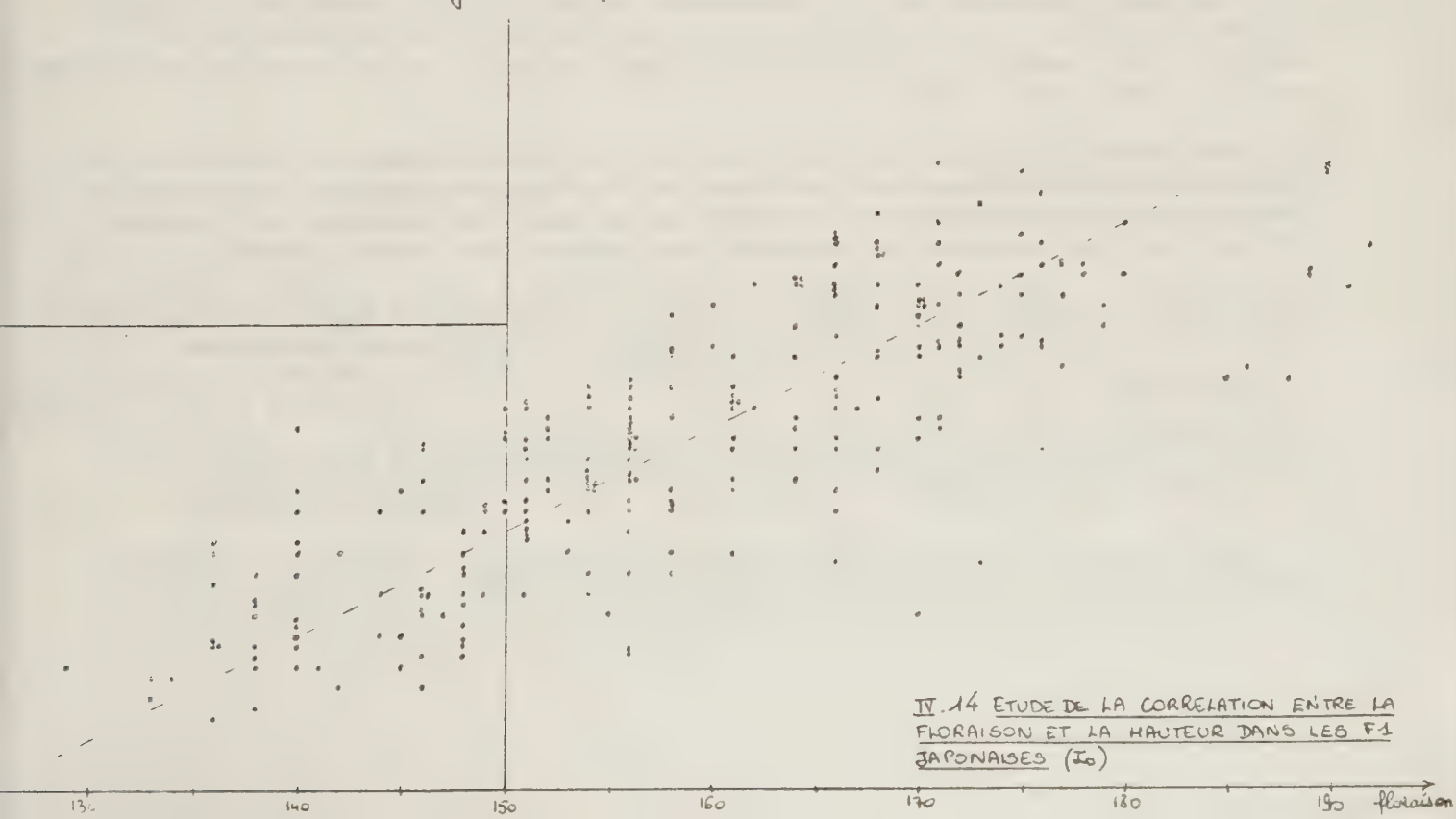
Pour préciser cette relation entre la croissance et la mise à fleur, nous avons étudié les corrélations entre la hauteur et la date de floraison sur les deux échantillons précédents (F_1 américaines et F_1 japonaises), notées lors de l'épanouissement de la première fleur.

Coefficient de corrélation $r = 0,74$
intervalle de confiance (5%) 0,70 - 0,78
test de conformité ($H: r = 0$) :
$t = 21,66$ H.S. (à 384 degrés de liberté)



IV.13 ETUDE DE LA CORRELATION ENTRE LA FLORAISON ET LA HAUTEUR DANS LES F1 AMERICAINES (I_o)

coefficient de corrélation $r = 0,82$
intervalle de confiance (5%) 0,78 - 0,86
test de conformité ($H: r = 0$)
$t = 22,78$ H.S. (à 257 degrés de liberté)



IV.14 ETUDE DE LA CORRELATION ENTRE LA FLORAISON ET LA HAUTEUR DANS LES F1 JAPONAISES (I_o)

La représentation graphique de chaque individu I_0 en fonction de sa floraison et de sa hauteur nous amène à un nuage de points dispersés autour d'une droite de pente 1 (cf. graphiques IV-13 et IV-14).

Pour préciser l'intensité de la dispersion, nous avons calculé les coefficients de corrélation de BRAVAIS-PEARSON (P. DAGNELIE - 1969).

- F_1 américaines

Le coefficient de corrélation r = 0,74 admet pour intervalle de confiance à 5 % : 0,70 - 0,74 (n = 386). Il est donc significativement différent de 1 (régression linéaire).

L'existence de la corrélation est confirmée par le test de conformité qui permet de rejeter l'hypothèse r = 0 puisque

$$t_{obs} = 21,66$$

ce qui avec 384 degrés de liberté est hautement significatif.

- F_1 japonaises

Le coefficient de corrélation plus élevé r = 0,82 témoigne de la moins grande dispersion des individus autour des axes-intervalle de confiance (5 %) : 0,78 - 0,86. Il est aussi significativement différent de 1.

Le test de conformité présente une valeur de :

$$t_{obs} = 22,78$$

hautement significative avec 257 degrés de liberté.

Le calcul et la représentation graphique mettent en évidence une corrélation positive entre la hauteur et la floraison : la hauteur des plantes varie avec la longueur du cycle. Les floraisons s'échelonnent entre le 1er novembre et le 15 janvier ce qui confirme la neutralité de l'Antirrhinum vis-à-vis du photopériodisme pour des températures basses.

La relation entre la hauteur de la plante et la floraison met en évidence le rôle du méristème terminal ; la modification de son fonctionnement au moment de l'initiation florale détermine la taille de la plante (disparition de l'anneau initial) et l'induction de la floraison (activité du méristème d'attente).

Certains auteurs se sont interrogés sur l'existence d'un stade de développement critique pour le passage de la phase végétative à l'induction florale chez l'Antirrhinum (K.J.R. EDWARDS et J.B. GOLDENBERG - 1975). Or, le nombre de noeuds formés à la floraison varie comme la hauteur ainsi que E.A. MAGINNES et R.W. LANGHANS (R.W. LANGHANS - 1962) l'ont précisé pour 5 variétés F_1 de serre. D'autre part, l'hypothèse du rôle d'une surface foliaire globale minimum a été posée par C.L. HEDLEY et D.M. HARVEY (1975) sans avoir jusqu'à présent été démontrée.

De notre côté, nous avons noté que l'ébourgeonnage tel qu'il est pratiqué en production (cf. paragraphe IV.2.33) est sans effet sur la date de floraison.

IV - 15. EFFET DE L'EBOURGEONNAGE SUR 6 HYBRIDES F_1 (3 LOTS D'ORIGINE TEMOINS, 3 HYBRIDES EXPERIMENTAUX)

(essai comparatif en jours courts 1975-76)

Identité du lot	Floraison sans ébourgeonnage		Floraison après ébourgeonnage		Comparaison des moyennes par le test de l'écart réduit	
	$\bar{x}$ Sx	(n)	$\bar{x}$ Sx	(n)		
278	153,0 6,4	(24)	147,4 4,6	(7)	u = 1,18	(N.S.)
279	150,5 7,2	(23)	155,1 3,4	(8)	u = 1,24	(N.S.)
280	145,5 6,8	(20)	141,6 5,5	(8)	u = 0,64	(N.S.)
F_1-4	159,0 4,7	(23)	152,3 6,7	(8)	u = 1,02	(N.S.)
F_1-14	152,3 5,1	(24)	157,9 5,3	(8)	u = 1,22	(N.S.)
F_1-26	145,0 5,3	(24)	142,5 4,6	(8)	u = 0,65	(N.S.)

abréviations $\bar{x}$ = moyenne Sx = écart-type n = effectif observé

Les 6 lots analysés ont été pris au hasard dans un essai qui portait sur la comparaison de 42 lots hybrides F_1. Il n'apparaît donc aucune corrélation entre la floraison et la présence ou l'absence de ramifications. Ce résultat est conforme à ce que l'on observe chez les lots à forte dominance apicale (port unicaulis) : dans le tableau A.IV-1, ce port se présente aussi bien chez des types à cycle long (405, 425, 429) qu'à cycle court (253, 272, 400) ou intermédiaire (278, 299, 407). Ces résultats ne sont pas en opposition avec l'hypothèse de C.L. HEDLEY et D.M. HARVEY concernant une surface foliaire minimum puisque on observe :

1) dans l'essai de l'ébourgeonnage que la suppression des ramifications est compensée par un accroissement de la taille et de l'épaisseur des feuilles sur l'axe principal.

2) dans l'essai de comportement en I_0 (tableau A.IV-1) que la taille moyenne des lots unicaulis correspond aux tailles les plus élevées pour les floraisons considérées. L'effet compensateur tiendrait alors dans l'accroissement du nombre de feuilles.

En conclusion, la floraison de l'Antirrhinum, qui est l'aboutissement de phénomènes internes, apparaît principalement déterminée par le génotype dès lors que la plante a atteint une hauteur convenable. Ces résultats sont comparables à ceux que l'on observe chez le haricot où il existe des types photopériodiquement neutres et des types de jours courts (H.A. ALLARD et W.J. ZAUMEYER - 1944). L'analyse du déterminisme de la floraison chez cette espèce met en évidence l'existence d'un système polygènique (D.P. COYNE - 19

La maîtrise de la floraison chez le muflier implique donc la connaissance des effet géniques. La construction de génotypes de haute taille et à floraison précoce, qui s'avè réalisable, permettra de conclure sur la nature génétique de la liaison entre ces deux caractères et sur l'importance de la vitesse de croissance durant la phase de développement.

V - DIVERSIFICATION DU MATERIEL GENETIQUE

V.1 - DESCRIPTION DES METHODES UTILISEES.

Nous avons vu précédemment comment a été constituée la collection qui a servi de base à cette étude. Elle représente un pool génique où se rencontrent avec une certaine fréquence des gènes favorables pour les objectifs choisis.

Le programme de sélection doit aboutir à des hybrides F_1 répondant à ces objectifs; ceci suppose donc la création de lignées fixées recombinant les gènes favorables selon des modèles déterminant les meilleures aptitudes à la combinaison. Pour sélectionner ces lignées, nous avons pris comme hypothèse, parce qu'elle était la plus simple, que l'effet d'additivité était important dans la réalisation des caractères retenus; ainsi en choisissant des lignées ayant de bonnes valeurs propres, nous devrions obtenir des hybrides de bon niveau. Ceci suppose aussi des héritabilités élevées.

Le système de sélection retenu a pour objet de provoquer, de sélectionner puis de fixer les recombinaisons favorables. Pour leur sélection et leur fixation, la sélection généalogique a été retenue en raison d'une part, de son efficacité et de sa rapidité et, d'autre part, du peu d'importance de l'effet dépressif d'inbreeding chez l'Antirrhinum.

Toutefois, la sélection généalogique favorise peu la recombinaison, il faut donc l'appliquer à un matériel présentant déjà un taux élevé de combinaisons favorables. Afin de provoquer un maximum de recombinaisons, nous pouvons jouer sur deux facteurs au niveau du pool génique de départ :

- l'augmentation de la fréquence des gènes favorables
- l'accroissement du taux des recombinaisons.

C'est ce que nous avons recherché au travers des sélections convergentes (cf. V-1 bis).

Pour caractériser trois des processus de diversification du matériel génétique de départ, nous avons retenu le terme de sélection convergente. La dénomination d'amélioration convergente "convergent improvement" a été proposée en 1927 par F.D.RICHEY à propos de lignées de maïs : il envisageait leur enrichissement génique par rétrocroisements réciproques sur chacun des deux parents. L'efficacité de la méthode a été montrée expérimentalement par F.D. RICHEY et G.F. SPRAGUE (1931) : 3 ou 4 rétrocroisements suivis de 2 ou 3 autofécondations conduisent à des lignées significativement supérieures aux lignées originales. La méthode est donc appliquable aux espèces allogames supportant bien l'autofécondation telle que l'Antirrhinum.

Les méthodes que nous avons employées relèvent du même procédé c'est à dire l'amélioration d'un pool génique par cumul des gènes favorables. Nous l'avons limité en ne réalisant qu'un ou deux cycles d'interchange génétique mais enrichi en utilisant différents processus de recombinaisons.

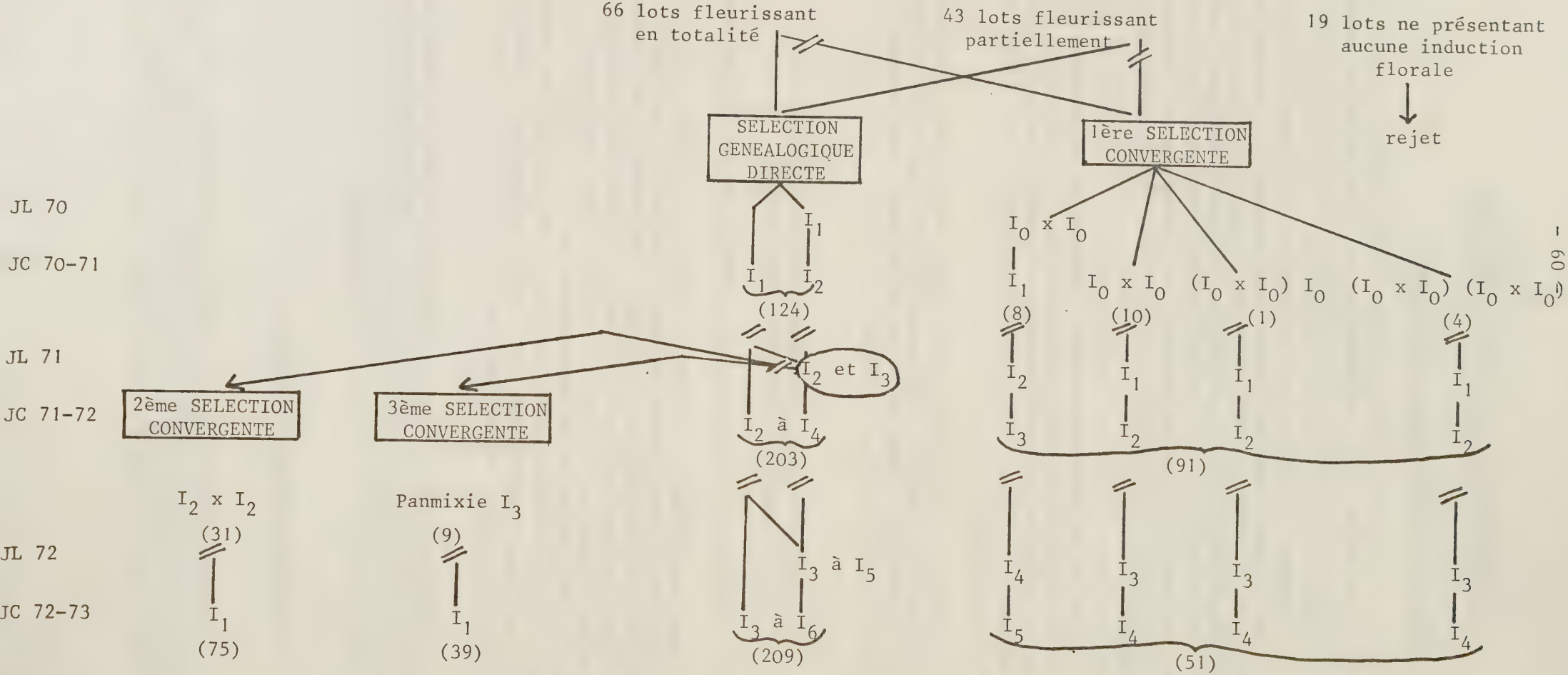
V.1.1 Sélection généalogique directe (G) :

La première méthode est une sélection généalogique directement appliquée au pool génique de départ qui comprend 102 hybrides F_1 (soit 80 % des lots) pour 26 variétés-populations. Ce matériel, qui est donc en principe fortement hétérozygote, présentera un nombre élevé de recombinaisons après la première autofécondation (I_{1G}).

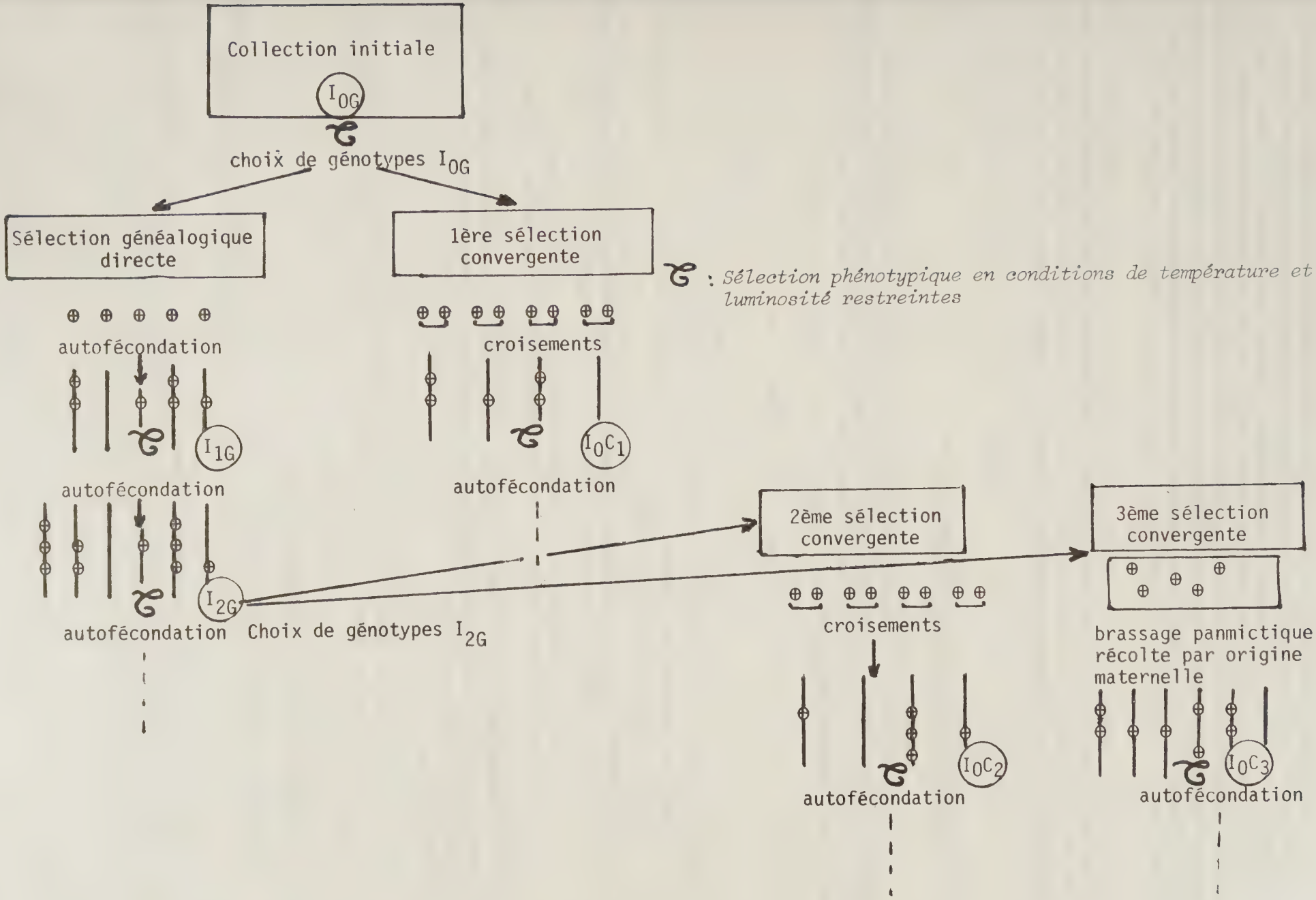
V-1. PROGRAMME DE SELECTION SUR ANTIRRHINUM - PHASE DE DIVERSIFICATION DU MATERIEL GENETIQUE

1969 CONSTITUTION DE LA COLLECTION : 127 variétés commerciales (102 hybrides F_1 et 26 variétés-populations)
44 lignées antérieures du laboratoire + 9 croisements + 1 brassage panmictique à 6 lignées

JC 69-70 ESSAI DE COMPORTEMENT de la collection dans les conditions fixées (température de culture : 11°, aération à 15°, éclairement naturel, floraison du 1er novembre au 15 février), conditions reproduites à chaque étude en jours courts.



Abréviations : JC : Jours Courts JL : Jours Longs ( ) nombre de lots // sélection pour les caractères retenus



V - 1 bis. SCHEMA DES PROCESSUS DE DIVERSIFICATION

Il faut noter toutefois que les loci qui ont échappé à une sélection préalable, c'est-à-dire ceux qui ne s'expriment pas dans les conditions pour lesquelles les variétés ont été antérieurement sélectionnées, peuvent se trouver à l'état homozygote dès la I_0, qu'il s'agisse de variétés hybrides F_1 ou de variétés-populations. Ceci est le cas d'une partie des gènes qui déterminent la floraison puisque ces variétés ont été améliorées en vue d'une floraison soit en période de jours longs (variétés de pleine terre) soit en période de jours de longueurs intermédiaires entre les jours courts et les jours longs en présence de températures élevées (variétés de serre).

En fait, dans le cas de la floraison, la répartition des génotypes suivra la loi de Hardy-Weinberg (structure panmictique); c'est-à-dire que si le caractère est déterminé par k gènes favorables et que p est la fréquence de chacun des allèles, la probabilité d'un génotype homozygote groupant les gènes favorables en I_{0G} sera :

$$(p)^{2k}$$

V.1.2 Première sélection convergente (C_1) :

La deuxième méthode possible est basée sur la constitution d'un nouveau pool génique après une sélection réalisée dès la I_{0G} à la suite de l'essai de comportement. Ceci a pour effet d'augmenter la fréquence des allèles favorables, soit, p' cette nouvelle fréquence telle que

$$p' > p$$

$$\text{d'où } (p')^{2k} > (p)^{2k}$$

La voie qui a été retenue (cf. schéma V-1 et V.1 bis) est :

1) choix de phénotypes présentant un cycle graine-fleur court, c'est-à-dire à valeurs de floraison peu élevées

2) croisement de ces phénotypes précoces avec des phénotypes à floraison moyenne ou élevée. Dans quelques cas, il y a eu recroisement :

   - soit en introduisant un troisième parent I_0 de valeur moyenne.
   - soit en combinant deux à deux les produits des croisements initiaux.

La fécondation croisée a été retenue pour favoriser certaines recombinaisons notamment pour des caractères remarquables présents dans les lignées à floraison élevée (inflorescences longues et denses, port unicaulis, hauteur de tige, coloris particuliers).

Dans ce cas, compte tenu de la structure fortement hétérozygote des génotypes en I_{0G}, c'est essentiellement la modification de la fréquence des gènes favorables qui induit un nouveau pool génique I_{0C_1}.

V.1.3 Deuxième sélection convergente (C_2) :

Les deux autres méthodes de diversification du matériel génétique font interveni outre le choix phénotypique, le brassage génétique après une phase d'inbreeding.

La deuxième sélection convergente s'est effectuée par croisement entre les lots I_{2G} ou I_{3G} choisis parmi ceux issus de la sélection généalogique directe. 26 lignées ont été ainsi retenues car elles présentaient les meilleures valeurs propres quant à la floraison et à la hauteur dans la ou les origines considérées.

Au lieu de réaliser les 325 croisements possibles, nous nous sommes limités à réaliser 31 hybridations en ne combinant que des génotypes d'une même origine commerciale. Nous voulions en effet parallèlement tenter de mettre en évidence des différences génétiques autres que celles portant sur les coloris entre variétés d'une même gamme commerciale ces derniers étant cependant les seules différences présentées sur les catalogues des firmes de sélection. Nous pensions que les différences intra-origines pouvaient être aussi fortes dans la gamme offerte par une firme que celles inter-origines rencontrées entre gammes de différentes origines commerciales.

V.1.4 Troisième sélection convergente (C_3) :

Pour pallier les risques encourus dans la voie précédente (C_2), c'est-à-dire dans le cas où les variations intra-origines auraient été minimes, nous avons réalisé un brassage panmictique entre 9 lots I_2 ou I_3 parmi ceux retenus en V.1.3.

Le choix des composants du brassage panmictique s'est réalisé en tenant compte :

- de la représentation des différentes origines commerciales.
- du maintien de la gamme des couleurs de fleurs.
- de la potentialité de ports favorables (phénotypes à forte dominance apicale).

Le brassage panmictique a été réalisé en inter-campagne d'été :

- le synchronisme des floraisons étant assuré par la suppression des fleurs trop précoces,
- la fécondation étant effectuée par les insectes,
- la pollinisation aléatoire étant obtenue grâce à une plantation randomisée.

La récolte des graines a été réalisée, d'une part sur les plantes du centre pour éviter les déviations de fécondation en bordure et, d'autre part en tenant compte de leur origine maternelle.

V.2 - COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS DANS DIFFERENTS ESSAIS EN JOURS COURTS.

Les floraisons telles que nous les avons définies (cf. paragraphe IV-3-1) permettent de comparer les lignées se référant à la même date de semis. Pour des dates différentes, des décalages peuvent apparaître; ils sont dus aux variations des conditions climatiques environnantes durant la phase végétative (principalement l'ensoleillement durant le mois d'octobre : cf. paragraphe III-1).

Ces différences d'intensité lumineuse ainsi que de températures diurnes influent sur la vitesse de développement de la plante et peuvent donc entraîner des avances ou des retards à la floraison. Il faut donc pour établir des comparaisons de longueur de cycle pouvoir appliquer un terme correctif aux valeurs observées pour un essai donné en jours courts.

Pour mesurer cette amplitude des valeurs de floraison, nous avions placé dans chaque essai une gamme de témoins (hybrides F_1). Toutefois, ceux-ci n'ont donné qu'une indication du décalage car les témoins de même identité, renouvelés, étaient sensiblement différents de ceux utilisés précédemment, les parents des hybrides faisant vraisemblablement l'objet d'une poursuite de sélection ou tout au moins de fixation chez l'obtenteur. En outre, nous avons du restreindre le nombre des témoins en raison de la limitation de la surface et les choisir en fonction de leurs différences de comportement et de leurs caractéristiques secondaires (coloris en particulier); leur comparaison d'un essai à l'autre s'avère pratiquement non extrapolable à l'ensemble des lignées étudiées.

V-2. COMPARAISON DES DISTRIBUTIONS ET DES MOYENNES DE FLORAISON POUR LES DIFFERENTES CAMPAGNES EN JOURS COURTS

campagne	date de semis	moyenne $\bar{x}$	écart-type Sx	écart-type de la moyenne $S_{\bar{x}}$	écart par rapport à la campagne 69 I (en jours constants de 8 h 15)
69 I	7/8	158,3	9,5	1,2	0
69 II	18/8	169,8	14,2	1,8	+ 11
70 I	12/8	165,1	12,9	1,3	+ 7
70 II	1/9	180,2	11,8	3,3	+ 22
71 I	10/8	157,9	9,5	0,6	N.S. (5 %)
71 II	23/8	148,5	10,4	0,8	- 10
72 I	10/8	171,1	12,7	0,7	+ 13
72 II	21/8	158,4	7,5	1,3	N.S. (5 %)
73 I	7/8	167,7	18,9	2,7	+ 9
73 II	23/8	166,2	12,6	1,2	+ 8
74 I	5/8	163,7	9,2	1,4	+ 5
74 II	22/8	157,8	9,8	1,0	N.S. (5 %)
75 I	4/8	160,5	10,4	1,6	N.S. (5 %)
76 I	5/8	163,5	11,5	1,3	+ 5

Pour calculer des valeurs correctives, nous avons donc utilisé une autre méthode basée sur la distribution des moyennes de floraison pour une campagne jours courts et une date de semis données. En comparant toutes ces distributions à celle observée en I_0 et pour la première date de semis, nous avons pu mesurer des écarts entre les moyennes. Les résultats figurent au tableau A-V-4. En se basant sur le test de l'écart-réduit, nous avons déterminé les moyennes non différenciables de celle de la distribution témoin (campagnes 71 I, 72 II, 74 II et 75 I). Un seul essai se révèle être plus précoce (campagne 71 II); les autres sont plus tardifs.

Ce mode de correction a l'inconvénient de masquer les progrès obtenus par la sélection. Toutefois, il permet d'établir des analogies de comportement vis-à-vis de la distribution témoin (69 I).

Pour replacer cette correction dans le contexte des valeurs de l'ensoleillement durant la phase de croissance, nous avons comparé les insolations observées pour les années étudiées.

V-3. DUREES D'INSOLATION DURANT LA PERIODE DE CROISSANCE (en heures et 1/10e d'heure)
VERSAILLES - C.N.R.A.

année	octobre (31 jours)	écart par rapport à 1969 en % du témoin	octobre (20 jours) + novembre (20 jours)	écart par rapport à 1969 en % du témoin
1969	175,8	-	149,0	-
1970	119,9	- 32	117,2	- 21
1971	182,0	+ 3	176,1	+ 18
1972	162,4	- 8	128,7	- 14
1973	137,0	- 22	155,5	+ 4
1974	71,3	- 59	79,9	- 46
1975	96,1	- 45	-	-
1976	105,9	- 40	-	-

Le mois d'octobre est déterminant pour les premières dates de semis. C'est en effet dans les premiers jours de ce mois qu'ont lieu les plantations en pleine terre (cf. paragraphe III-3). C'est donc durant le mois d'octobre que la croissance est la plus importante et qu'ont lieu les premières initiations florales; les premières floraisons étant observées à partir du 10 novembre, la floraison étant réalisée à 50 % dans les premiers jours de décembre.

Pour les deuxièmes dates de semis, ce sont les ensoleillements des 20 derniers jours d'octobre et des 20 premiers de novembre qui paraissent significatifs. Pour ces semis, les plantations sont effectuées vers le 10 octobre ; les premières floraisons sont observées le 30 novembre et 50 % de la floraison dans la troisième décade de décembre.

Si on rapproche les écarts d'ensoleillement (tableau V-3) des écarts de moyenne calculés, (tableau V-2), on s'aperçoit qu'il y a concordance dans les premiers essais. Par contre, il apparaît pour :

- 72 I, 73 II : une légère surestimation des valeurs correctives
- 74 I, 74 II, 75 I, 76 I : une nette sous-estimation des valeurs correctives

La sous-estimation des dernières campagnes coïncide avec la sous-estimation de l'effet de la sélection comme nous le suggérions.

Par la suite, lors de comparaison d'une génération à une autre, nous utiliserons le terme correctif calculé qui est l'écart de moyenne par rapport à la campagne 69 I mesuré en jours constants de 8 h 15 (tableau V-2) tout en conservant à l'esprit les révisions qualitatives à leur appliquer dans certains cas.

V.3 - RESULTATS OBTENUS - COMPORTEMENTS EN I_0.

V.3.1 Sélection généalogique directe

Les résultats concernant la génération I_0 de la sélection généalogique sont présentés dans le tableau A-IV-1. Ils ont été observés au travers de trois essais (69 I, 69 II et 70 I).

V.3.11 floraison

Le comportement vis-à-vis de ce caractère a été précédemment relaté (Y. MITTEAU. 1974). Trois types de réponses ont été différenciés :

type I : floraison à 100 % du lot durant la période fixée (1er novembre au 15 février)
type II : floraison partielle du lot durant cette période.
type III : aucune floraison durant cette période.

La répartition des réponses selon le type variétal est la suivante.

V-4 REPONSES OBSERVEES DURANT L'ESSAI 69 I : ESSAI DE COMPORTEMENT (semis du 7 août)

CATEGORIES VARIETALES	REPONSE Type I	Type II	Type III
F_1 de serre (53)	52	1	0
F_1 de pleine terre (48)°	12	24	12
Variétés-populations (26)	1	18	7
Total (127)	65	43	19

° : une variété F_1 de pleine terre n'a pas été étudiée lors de cet essai.

La fréquence du type I parmi les variétés F_1 de serre paraît remarquable ; ceci s'explique par l'effet de la sélection qu'elles ont déjà subi et qui a eu pour résultat d'accroître la fréquence des gènes favorables pour la floraison. Toutefois il faut noter que si ces lots fleurissent intégralement durant la période retenue, cette floraison peut être très échelonnée comme nous le verrons ensuite. Quant aux autres caractères choisis (port, type d'inflorescence, hauteur), ils ne se trouvent que très rarement regroupés dans le même phénotype. Pour les variétés F_1 de pleine terre, il n'est pas impensable qu'un certain nombre des lignées sélectionnées en vue des cultures sous serre ait été utilisé pour l'un des parents; ceci justifierait le taux encore notable de type I dans cette catégorie variétale.

Pour préciser la réponse dans le type I, on peut définir 5 groupes de précocité dénommés de A à E :

A : lots très précoces : moyenne de floraison inférieure à 150 (jours de 8 h 15
B : lots précoces : moyenne de floraison comprise entre 150 et 160
C : lots moyens : moyenne de floraison comprise entre 160 et 170
D : lots tardifs : moyenne de floraison comprise entre 170 et 180
E : lots très tardifs : moyenne de floraison supérieure à 180

V-5. REPARTITION DES FLORAISONS DE TYPE I SELON LES CATEGORIES VARIETALES

catégories variétales	groupes de précocité					
	A	B	C	D	E	
F_1 de serre (52)	9	28	11	4	0	
F_1 de pleine terre (12)	3	2	3	3	1	
Variétés-populations (1)	0	0	0	1	0	
Total (65)	12	30	14	8	1	

C'est le groupe B qui apparaît le plus fréquemment ce qui est une situation favorable puisqu'il est souhaitable, pour diminuer les coûts de production, de réduire les cycles et d'échelonner les floraisons par des semis successifs. Cette situation paraît être le fait des hybrides F_1 de serre ; toutefois dans les autres catégories, les nombres de lots étudiés sont trop faibles pour pouvoir conclure.

Pour juger la variabilité de la floraison parmi les types I, nous avons représenté le diagramme de dispersion des moyennes et des écarts-types. Ces derniers ont des valeurs élevées puisqu'elles excèdent 10 pour la moitié des lots (cf. graphique V-6). Les caractéristiques de cette dispersion sont :

floraison (x) (abscisse) — moyenne : 158,0 ; écart-type : 8,9

écart-type (Sx) (ordonnée) — moyenne : 10,6 ; écart-type : 4,8

corrélation floraison (x)/écart-type (Sx)

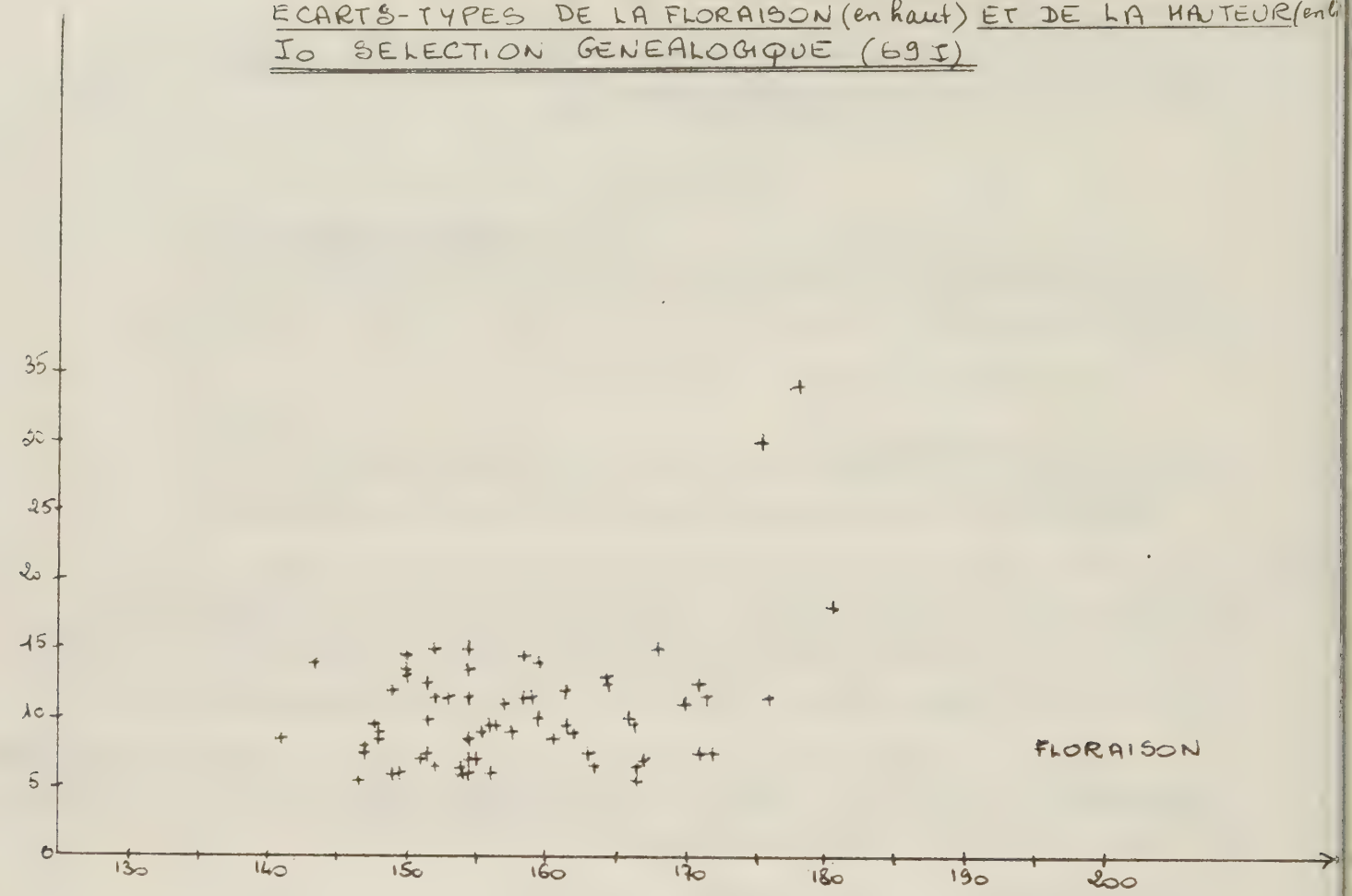
$r = 0,40$
test de conformité (hypothèse $r = 0$)
$t = 3,46$ significatif à 63 degrés de liberté

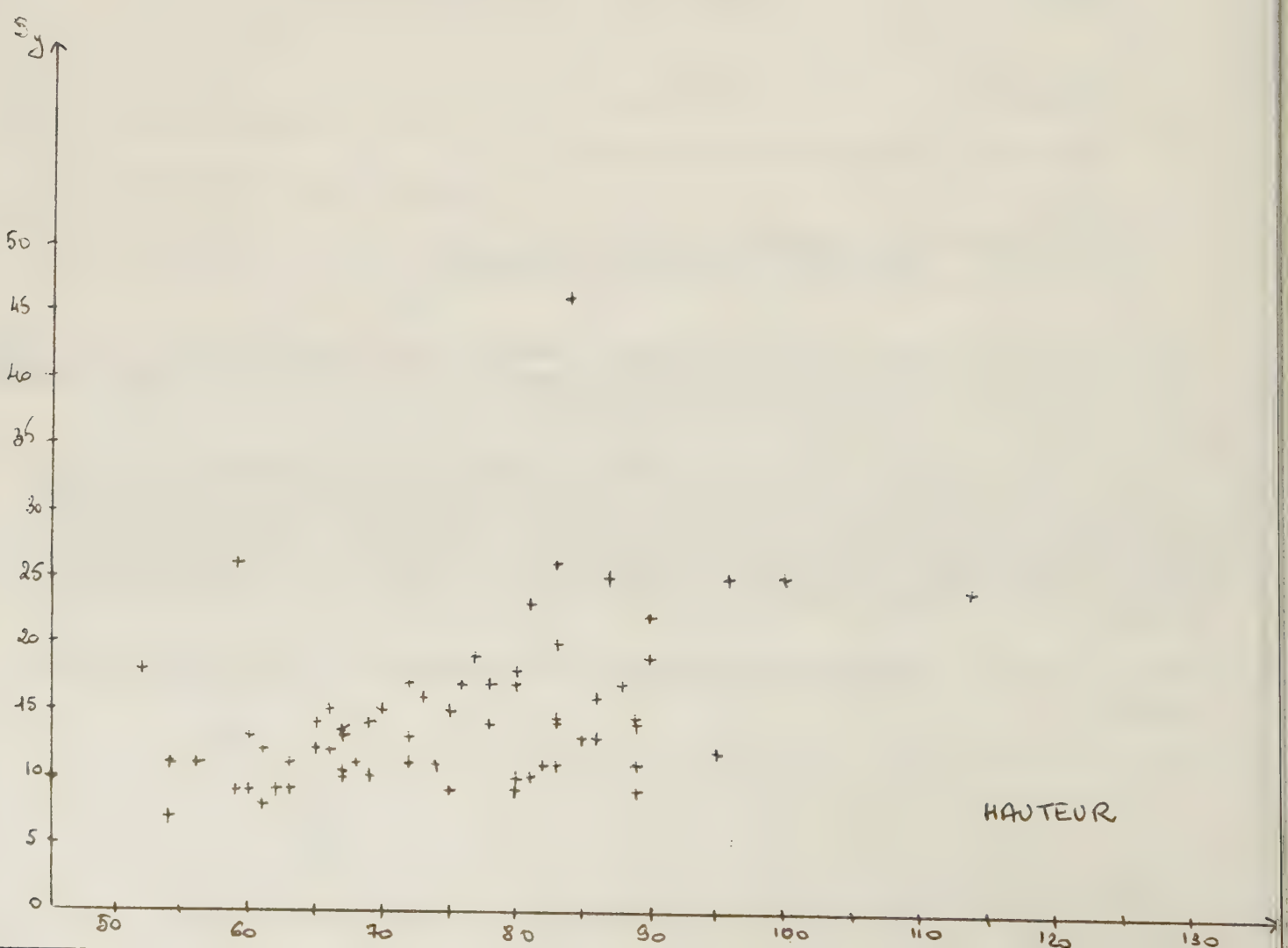
Nous pouvons alors tracer un rectangle suivant les valeurs limites de l'intervalle de confiance des deux variables (cf. graphique V-19). Celui-ci permettra une comparaison au niveau I_0 des méthodes de diversification.

Le calcul fait apparaître une corrélation faible mais significative entre les floraisons (x) et les écarts-types (Sx); aux plus fortes valeurs de x correspondent des valeurs plus élevées de Sx. Autrement dit les lots tardifs présentent souvent une dispersion plus importante que les lots précoces, en liaison avec une structure des variétés plus hétérogène pour ce caractère chez les premiers et une pré-adaptation moindre.

Cette corrélation paraît favorable pour la sélection de F_1 précoces à floraison groupée.

V-6 DIAGRAMMES DE DISPERSION DES MOYENNES ET DES ECARTS-TYPES DE LA FLORAISON (en haut) ET DE LA HAUTEUR (en bas) Io SELECTION GENEALOGIQUE (69 I)





V.3.12 hauteur

Le diagramme (cf. graphique V-6) fait apparaître une dispersion plus importante que pour la floraison. Ses caractéristiques sont :

hauteur (y)	moyenne	: 74,7
	écart-type	: 12,6
écart-type (Sy)	moyenne	: 14,7
	écart-type	: 6,3

corrélation hauteur (y)/écart-type (Sy)

r = 0,37
test de conformité (hypothèse r = 0)
t = 3,16 significatif à 63 degrés de liberté

Il apparaît souhaitable lorsque cela s'avère nécessaire (lots de faible taille) de tenter d'améliorer la hauteur moyenne du lot; toutefois, la corrélation ne joue pas dans un sens favorable pour ce caractère puisque les lots les plus précoces sont ceux dont la hauteur est la plus faible.

V.3.2 Première sélection convergente

V.3.21 floraison.

Le tableau A-V.1 présente les valeurs moyennes et les écarts-types de la floraison pour les hybrides qui constituent le nouveau matériel de départ ainsi que pour leurs parents (en I_0) et les lignées I_1 correspondantes en sélection généalogique directe. La comparaison avec ces dernières n'a pu être effectuée car elles ne sont pas systématiquement présentes lors du jugement en jours courts 70 I.

Les répartitions entre les différents types de réponse et les groupes de précocité sont les suivantes (valeurs corrigées : cf. paragraphe V-2 . Nous avons tenu compte du comportement des parents : type I (I) ou type II (II) ainsi que de leur fréquence dans la composition de l'hybride.

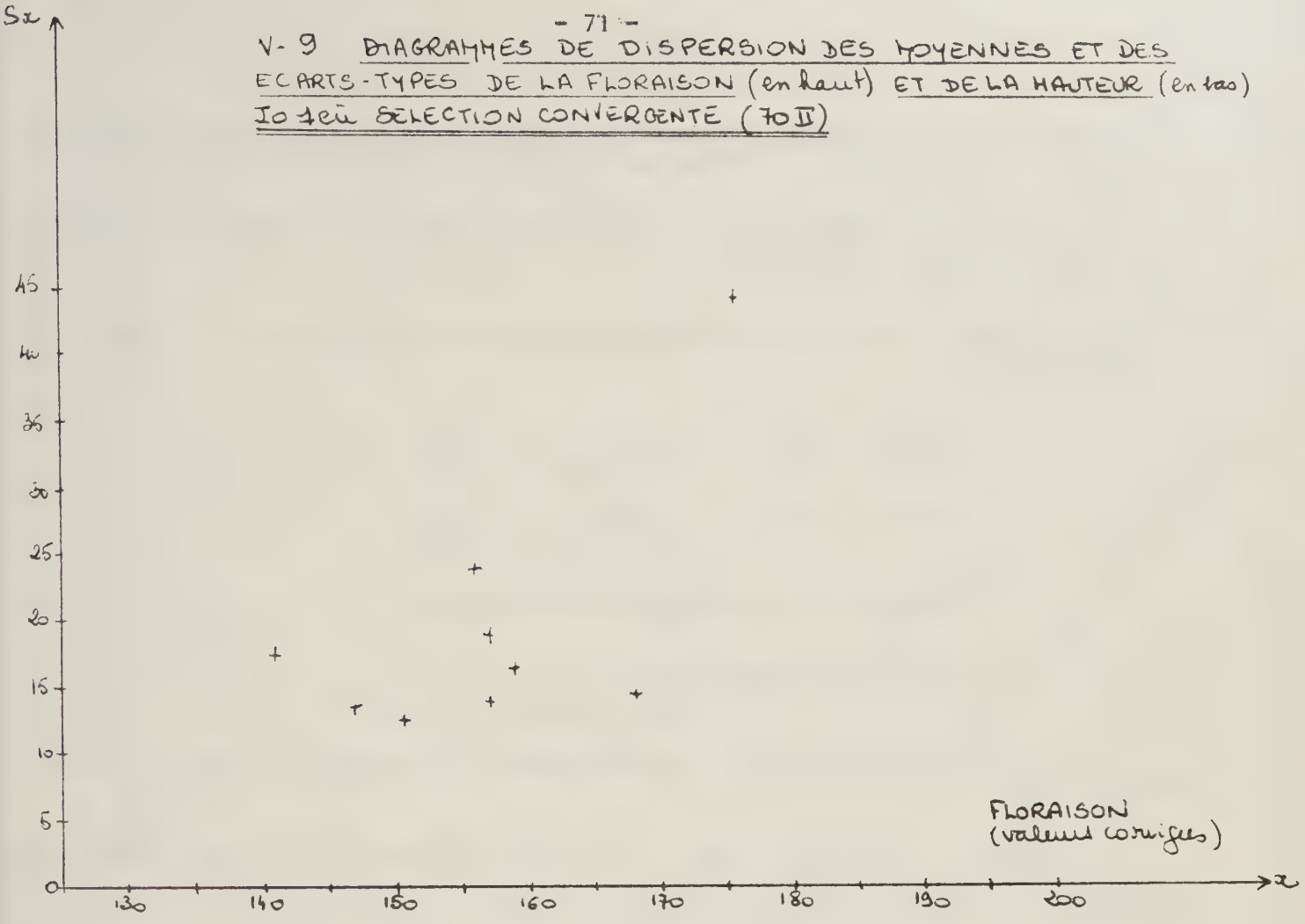
V- 7. REPONSES OBSERVEES DURANT L'ESSAI 70 II : PREMIERE SELECTION CONVERGENTE.

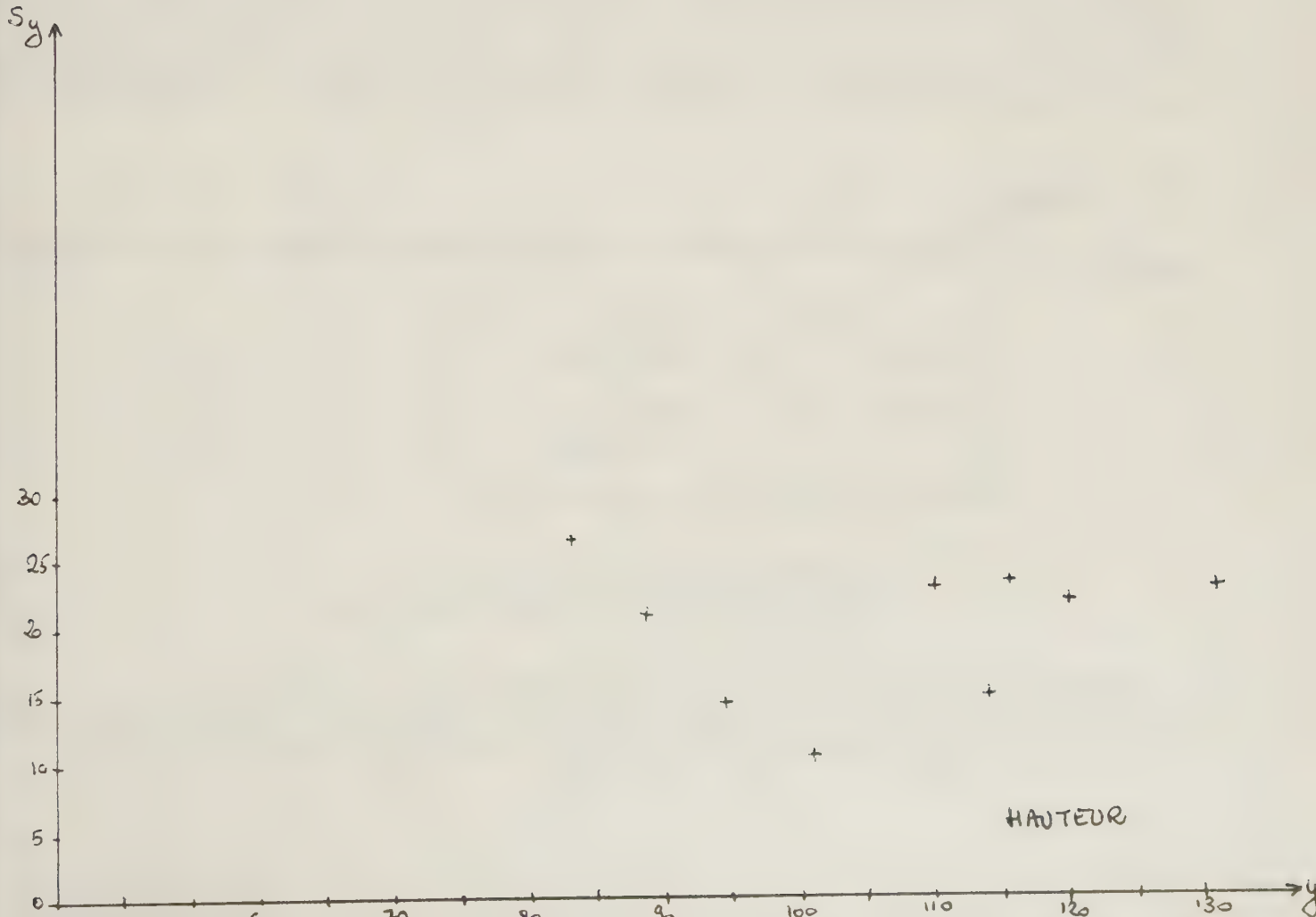
Types parentaux	REPONSES		
	Type I	Type II	Type III
type I x type I	6	-	-
(type I x type I) type I	1	-	-
(type I x type I)(type I x type I)	2	-	-
type I x type II	-	1	-
(type I x type II)(type I x type II)	-	2	-
Total (12)	9	3	-

V- 8. REPARTITION DES FLORAISONS DE TYPE I

Types parentaux	groupes de précocité				
	A	B	C	D	E
type I x type I	1	4	1	-	-
(type I x type I) type I	1	-	-	-	-
(I x I) (I x I)	-	1	-	1	-
Total	2	5	1	1	-

V-9 DIAGRAMMES DE DISPERSION DES MOYENNES ET DES ECARTS-TYPES DE LA FLORAISON (en haut) ET DE LA HAUTEUR (en bas)
Io 1eü SELECTION CONVERGENTE (70 II)





Le faible nombre de lots ne nous permet pas de tirer de conclusion. Toutefois, le tableau V- 7 indiquerait un effet de dominance des types II sur les types I.

Le tableau V- 8 répartissant les lots de type I selon les groupes de précocité se présente de façon comparable à ce que nous observons pour la sélection généalogique directe (tableau V-5).

Le diagramme de dispersion des moyennes et des écarts-types (V- 9) a pour caractéristiques :

floraison (x) (abscisse)	moyenne	: 161,9
	écart-type	: 18,5
écart-type (Sx)	moyenne	: 18,8
	écart-type	: 9,6

corrélation floraison (x)/écart-type (Sx)

r = 0,14
test de conformité (hypothèse r = 0)
t = 0,35 non significatif à 8 degrés de liberté.

La dispersion est élevée ainsi qu'en témoigne le rectangle de l'intervalle de confiance (cf. graphique V- 19).

Pour juger de l'hétérosis obtenu, nous avons représenté les valeurs phénotypiques de la floraison des hybrides réalisés en les replaçant vis-à-vis de celles des parents utilisés (V-10). Nous voyons que l'hétérosis apparaît dans la plupart des croisements notamment ceux qui font intervenir le 268 et le 405. L'existence d'un hétérosis aussi marqué est étonnant parmi des hybrides réalisés à partir de variétés F_1. Cependant, la "dissociation" de ces variétés par la sélection généalogique laissant apparaître une forte similitude entre leurs parents vraisemblables, ceci laisse penser que dans de nombreux cas, les hybrides F_1 du commerce sont réalisés à partir de lignées apparentées ou du moins de phénotypes assez proches pour masquer un défaut de fixation. S'il en est bien ainsi, l'hétérosis constaté ne serait pas surprenant.

V.3.22 hauteur.

Les caractéristiques du diagramme de dispersion des moyennes et écarts-types de la hauteur (V- 9) sont :

hauteur (y) (abscisse)	moyenne	: 106,4
	écart-type	: 15,7
écart-type (Sy)	moyenne	: 19,9
	écart-type	: 5,2

corrélation hauteur (y)/écart-type (Sy)

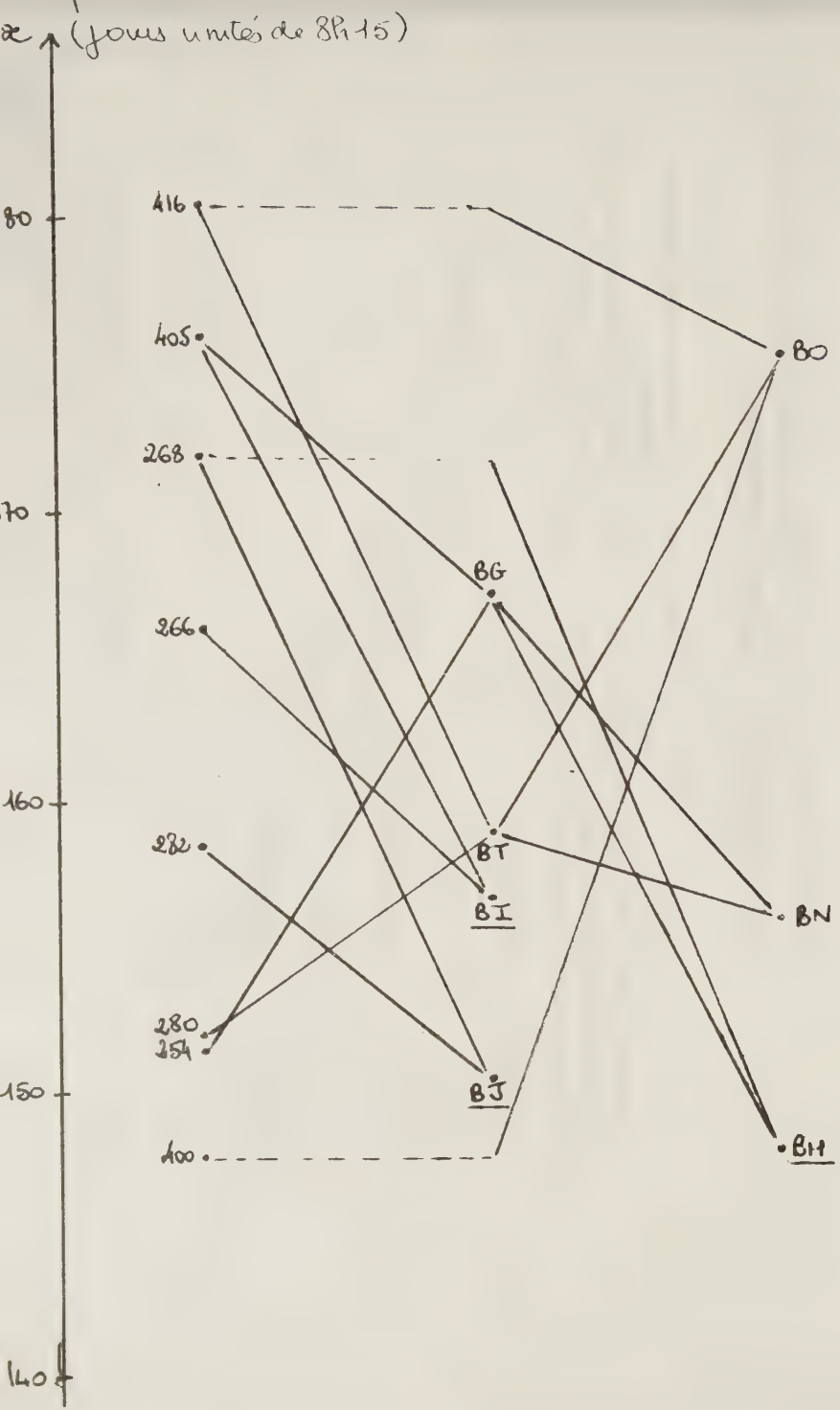
r = 0,08
test de conformité (hypothèse r = 0)
t = 0,21 non significatif à 7 degrés de liberté.

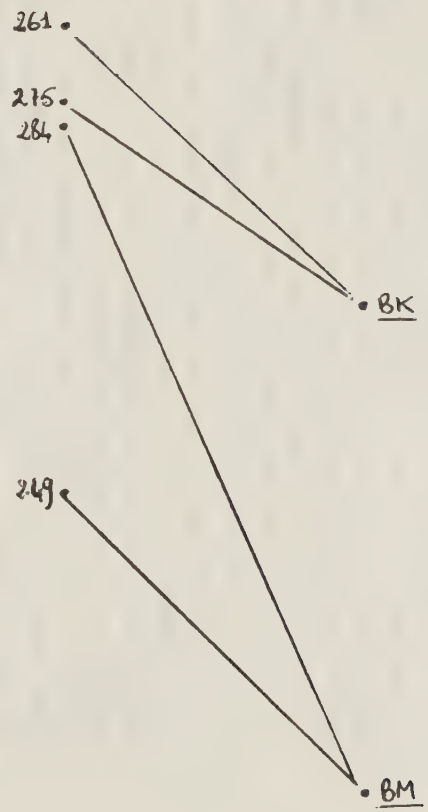
Comme dans le cas de la floraison, il n'existe pas de corrélation entre la moyenne de la hauteur et son écart-type. Ceci témoigne de l'importante dispersion des points mais la faiblesse de nombre des lots ne permet pas de tirer plus de conclusion.

PREMIERE SELECTION CONVERGENTE:

V-10 REPRESENTATION DES VALEURS PHENOTYPIQUES DES HYBRIDES EN RELATION AVEC CELLES DES PARENTS = FLORAISON (Valeurs corrigées)

exemple: BI cas d'hétérosis positif





La représentation des valeurs phénotypiques des hybrides en relation avec celle des parents (V- 11) montre pour ce caractère aussi un important effet d'hétérosis puisqu'il apparaît positivement dans tous les cas ; ceci confirmerait l'hypothèse formulée sur la constitution génotypique des parents des hybrides F_1 introduits en collection.

V.3.3 Deuxième sélection convergente

V.3.31 floraison.

Les valeurs des moyennes et des écarts-types de la floraison des hybrides réalisés pour cet autre mode de diversification sont regroupées dans le tableau A-V.2 en regard de ceux de leurs parents et des lignées correspondantes dans la sélection généalogique directe. Pour ces dernières, la comparaison avec les hybrides peut s'établir directement puisque leur jugement s'est réalisé au cours du même essai (71 I). Par contre, pour situer la valeur des hybrides par rapport à celles de parents, nous aurons recours aux valeurs corrigées.

La représentation des valeurs phénotypiques des hybrides en relation avec celles des parents (cf. planche V- 12) révèle 10 cas d'hétérosis positif ce qui représente une fréquence de ce phénomène analogue à celle observée en première sélection convergente. Toutefois, des similitudes de comportement selon les origines testées ne peuvent être relevées que dans deux cas car la dissemblance des buts poursuivis entre les deux voies associer à la précocité d'autres caractères favorables pour la première et juger la diversité du matériel dans une même origine commerciale pour la seconde, nous a conduit à un choix parental différent :

- l'origine 266 qui induit dans les deux cas un hétérosis positif.
- l'origine 400 qui dans les deux voies conduit à un hybride intermédiaire entre les phénotypes parentaux.

Parmi les lignées produisant un hétérosis positif, il convient de noter 241-3-4 266-1 et 292-2-13 qui entrent dans la troisième sélection convergente.

Les réponses selon les différents types définis plus haut, se répartissent de la manière suivante :

V- 13. REPARTITION DES REPONSES OBSERVEES DURANT L'ESSAI 71 I : DEUXIEME SELECTION CONVERGENTE.

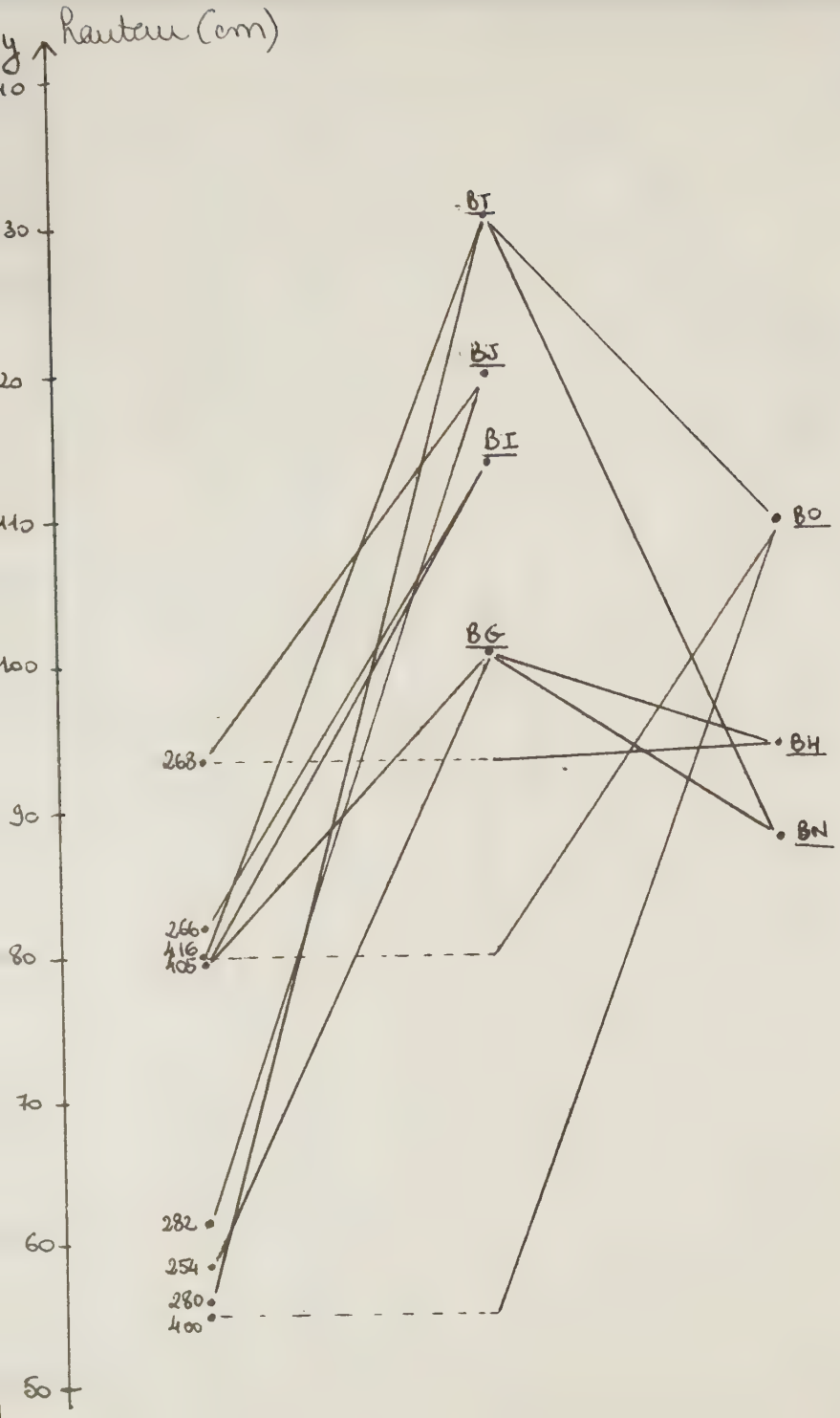
Origines parentales	REPONSE Type I	Type II	Type III
Variétés F_1 suisses de pleine terre	2	1	-
Variétés F_1 allemandes de serre	3	-	-
Variétés F_1 américaines de serre	11	1	-
Variétés F_1 japonaises de serre	6	-	-
Variétés F_1 japonaises de pleine terre	1	-	-
Variétés F_1 américaines de pleine terre	2	-	-
Total (27)	25	2	-

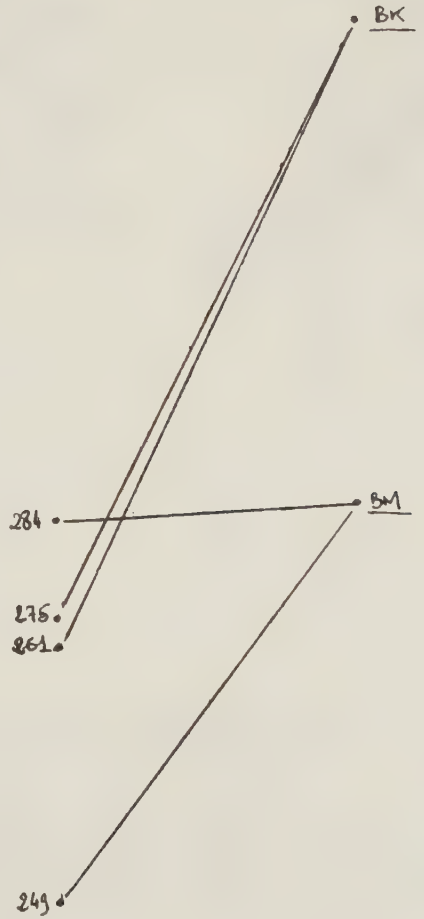
PREMIERE SELECTION CONVERGENTE:

V-11 REPRESENTATION DES VALEURS PHENOTYPIQUES DES HYBRIDES EN RELATION AVEC CELLES DES PARENTS

HAUTEUR

exemple: BI : cas d'hétérosis positif



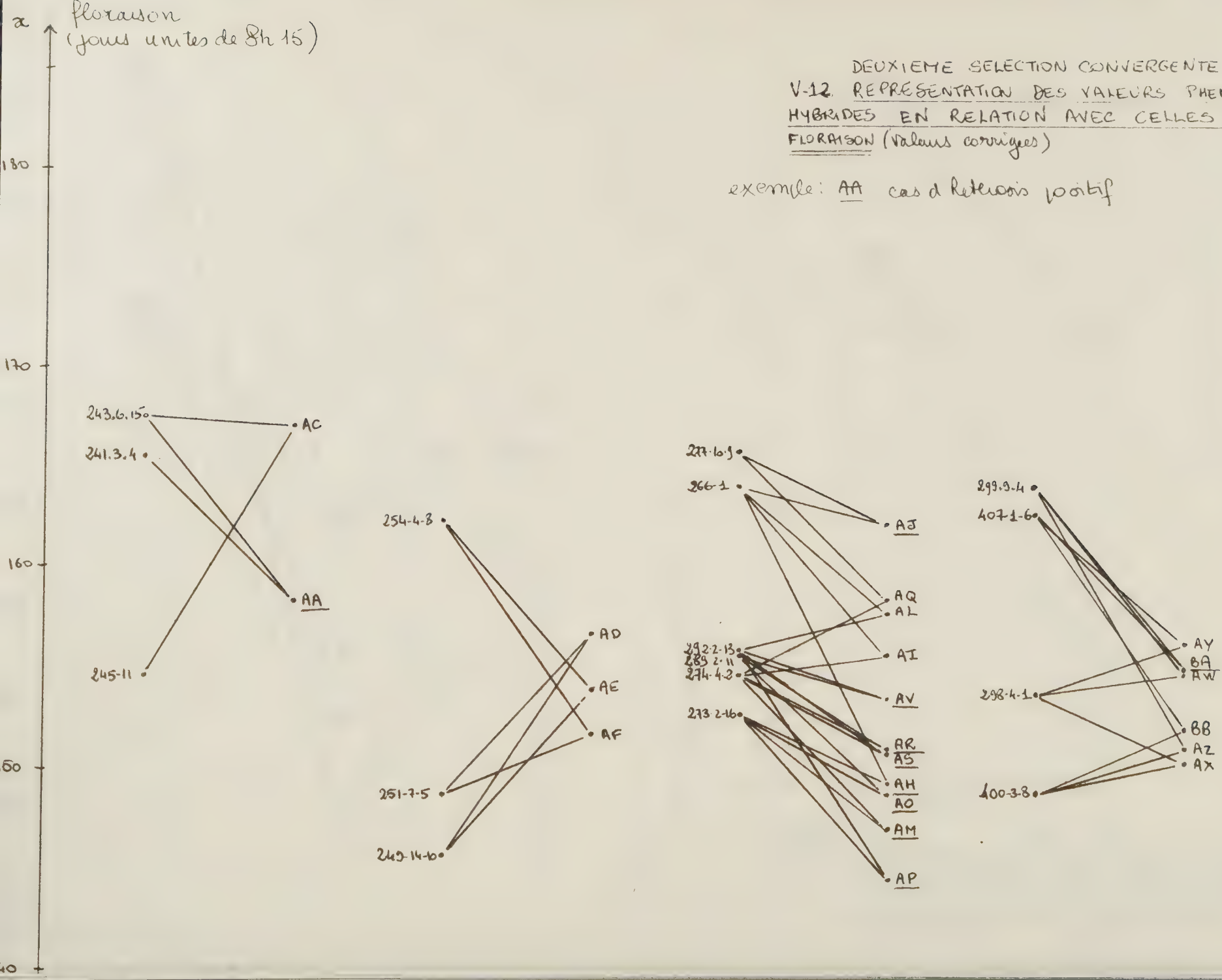


DEUXIEME SELECTION CONVERGENTE :

V-12. REPRESENTATION DES VALEURS PHENOTYPIQUES DES HYBRIDES EN RELATION AVEC CELLES DES PARENTS

FLORAISON (valeurs corrigées)

exemple : AA cas d'hétérosis positif



La rareté des types II et l'absence de type III sont remarquables. Les deux cas relevant du type II correspondent à des croisements entre type I donc à un hétérosis négatif. Par contre, on a réalisé :

- 1 croisement type I x type II : hybride noté I (réponse différant de celles observées en 1ère sélection convergente).
- 2 croisements type II x type II : hybrides notés I (cas non réalisé en 1ère sélection convergente).

Parmi les types I, la répartition des précocités est la suivante :

V- 14. REPARTITION DES FLORAISONS DE TYPE I

	groupes de précocité				
	A	B	C	D	E
Variétés F_1 suisses de pleine terre	-	1	1	-	-
Variétés F_1 allemandes de serre	-	3	-	-	-
Variétés F_1 américaines de serre	4	6	1	-	-
Variétés F_1 japonaises de serre	1	5	-	-	-
Variétés F_1 japonaises de pleine terre	-	1	-	-	-
Variétés F_1 américaines de pleine terre	-	-	1	1	-
Total (25)	5	16	3	1	0

Cette distribution est sensiblement analogue à celles observées précédemment.

Pour préciser la variabilité créée par ce nouveau mode de diversification, nous avons tracé le diagramme V- 15dont les caractéristiques sont :

floraison (x) (abscisse) — moyenne : 154,8 ; écart-type : 6,3

écart-type (Sx) — moyenne : 6,5 ; écart-type : 2,4

corrélation floraison (x)/écart-type (Sx)

r = 0,46
test de conformité (hypothèse r = 0)

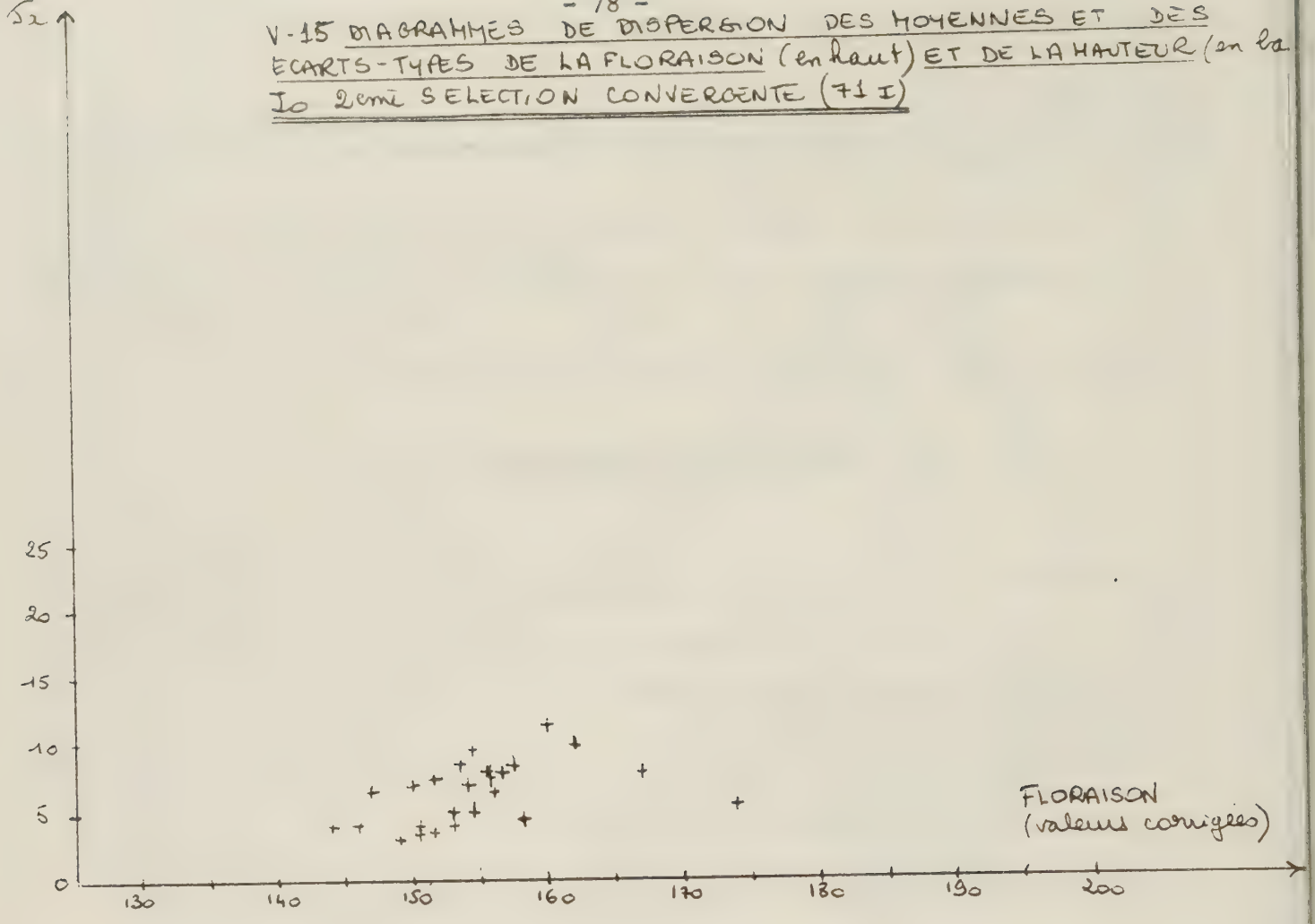
t = 2,48 significatif à 23 degrés de liberté

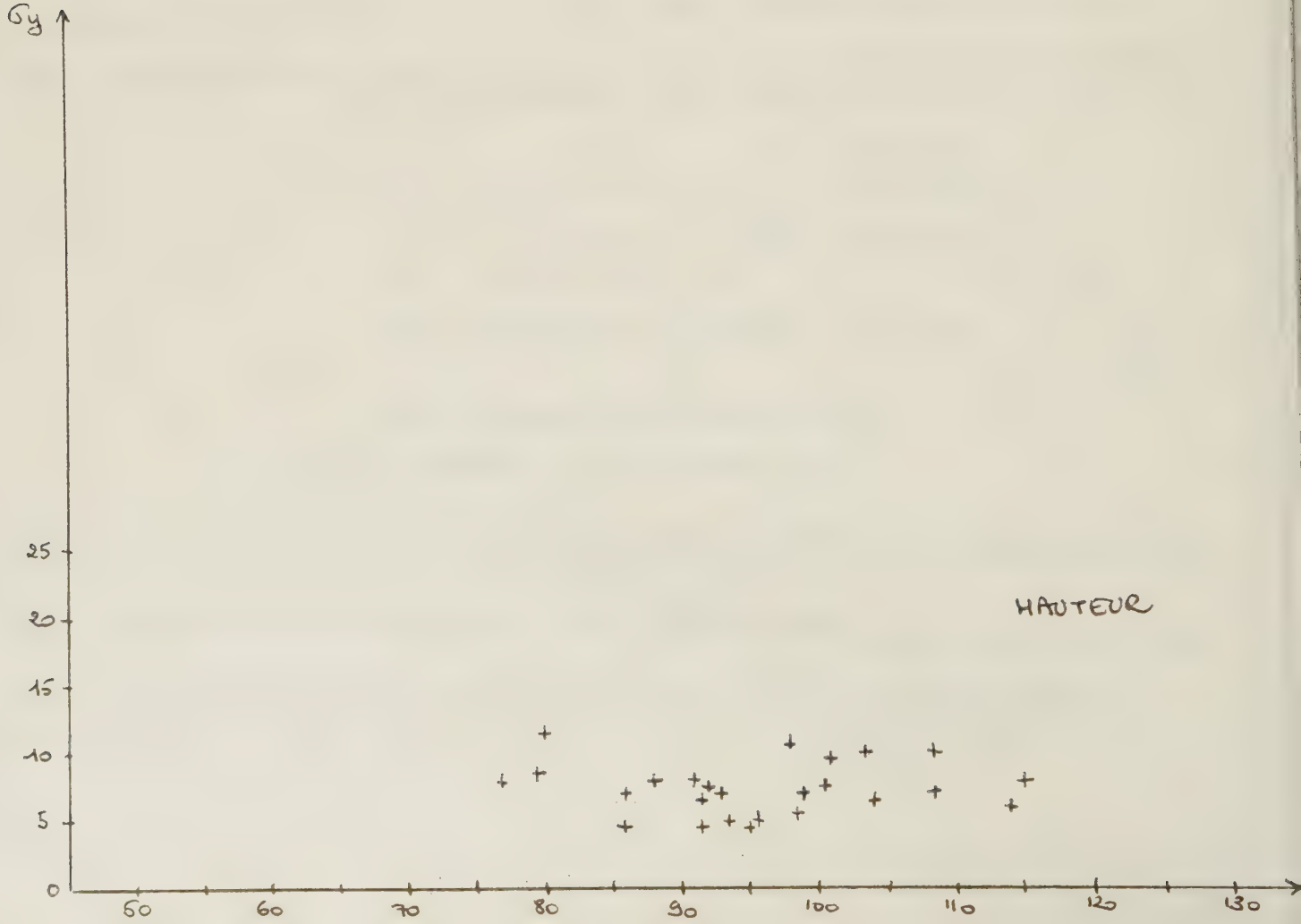
La corrélation se manifeste de façon analogue à ce que nous avions observé dans la sélection généalogique directe (paragraphe V-3-1).

Le diagramme laisse apparaître les effets de deux cycles d'inbreeding avec sélection au niveau des parents :

- la moyenne générale de la floraison est nettement plus basse que dans la sélection généalogique directe (- 3,2 jours unités) ou la première sélection convergente (- 7,1 jours unités).

V-15 DIAGRAMMES DE DISPERSION DES MOYENNES ET DES ECARTS-TYPES DE LA FLORAISON (en haut) ET DE LA HAUTEUR (en bas) DE LA 2ème SELECTION CONVERGENTE (71 I)





- la variance et la moyenne de l'écart-type sont réduites puisque ce dernier ne dépasse 10 jours que dans deux cas.

Enfin, si nous comparons la valeur des hybrides à celles des lignées correpondantes en sélection généalogique directe (avec une génération supplémentaire), nous trouvons les cas suivants :

9 hybrides sont supérieurs aux lignées (dont 5 correspondent à des cas d'hétérosis positif.
14 hybrides sont intermédiaires entre les lignées.
4 hybrides sont inférieurs aux lignées.

L'existence d'hybrides supérieurs aux lignées sans toutefois présenter d'hétérosis nous permet, dès ce stade, d'envisager l'existence de transgressions positives.

V.3.32 hauteur.

La comparaison entre les valeurs phénotypiques des hybrides et de leurs parents laisse apparaître comme précédemment un important hétérosis pour ce caractère (cf. planche V-16). Toutefois, nous rencontrons ici des hybrides à phénotype intermédiaire (AW), voire montrant un hétérosis négatif (AP). Les deux origines communes avec la première sélection convergente induisent le même type d'effet, c'est-à-dire un hétérosis positif. Parmi les lignées retenues en troisième sélection convergente 241-3-4, 251-7-5, 266-1 et 292-2-13 induisent ici un effet d'hétérosis positif.

L'hétérosis noté vis-à-vis des parents se marque aussi par rapport aux lignées (cf. tableau A-V-2) puisque :

15 hybrides sont supérieurs aux meilleures lignées.
8 hybrides sont englobées dans les lignées.

Les cas de transgression sont moins fréquemment retenus que pour la floraison ; ceci est logique compte tenu de la faible sélection appliquée à ce caractère.

La dispersion représentée sur le diagramme V-15 se caractérise par :

hauteur (y) moyenne : 95,8
écart-type : 9,9

écart-type (Sy) moyenne : 7,5
écart-type : 1,9

corrélation hauteur (y)/écart-type (Sy)

r = - 0,07
test de conformité (hypothèse r = 0)

t = 0,34 non significatif à 23 degrés de liberté.

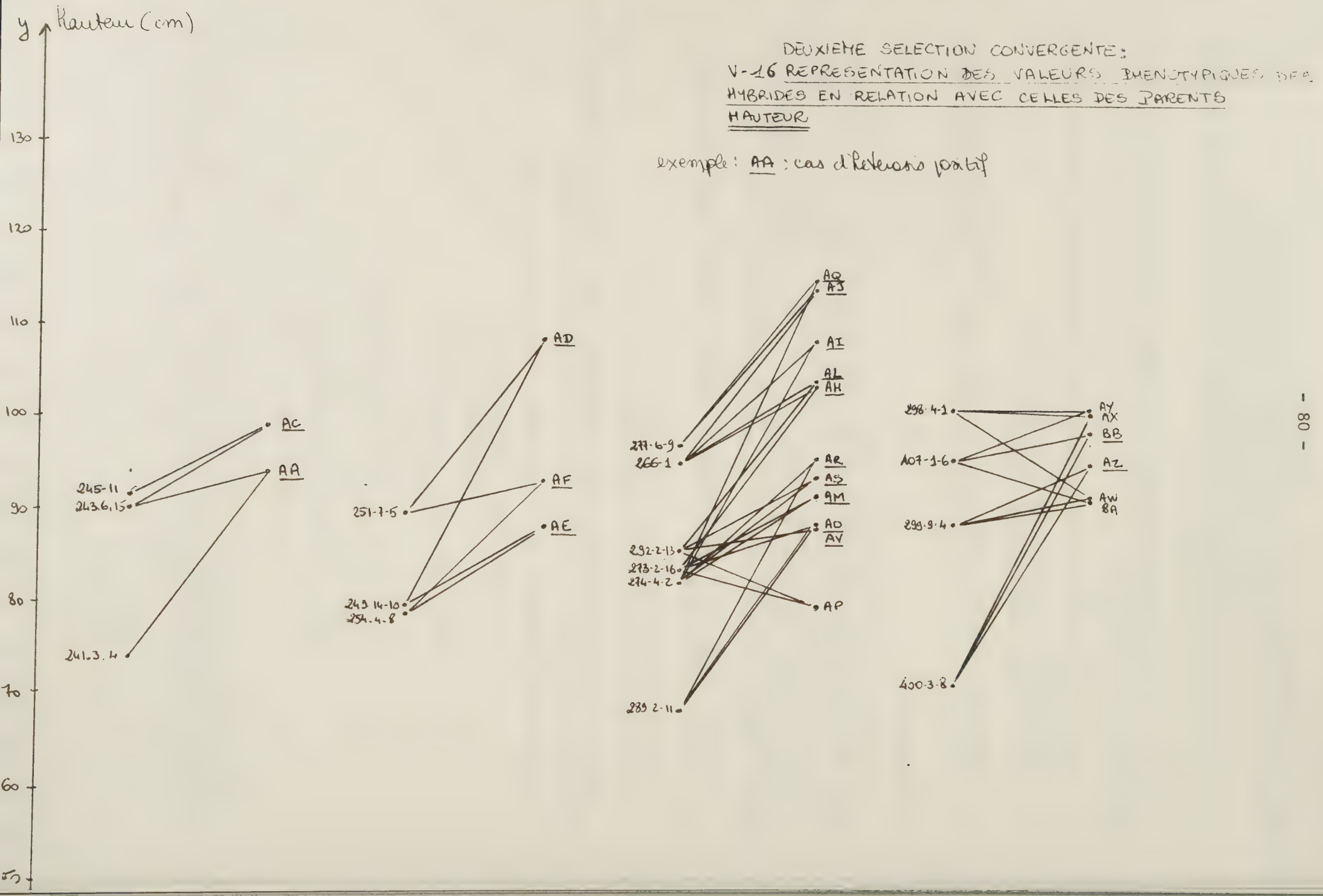
On note pour ce caractère une absence de corrélation, l'écart-type présente une variation qui, bien que réduite, est de même ordre quelque soit la hauteur moyenne de l'hybride. La variation de la hauteur moyenne demeure importante, contrairement à ce qui se produisait pour la floraison, en raison de l'absence de choix pour ce caractère.

DEUXIEME SELECTION CONVERGENTE:

V-16 REPRESENTATION DES VALEURS IMENOTYPIQUES DES HYBRIDES EN RELATION AVEC CELLES DES PARENTS

HAUTEUR

exemple : AA : cas d'heterosis positif



V.3.4 Troisième sélection convergente

V.3.41 floraison.

Les résultats obtenus par ce nouveau mode de diversification, basé cette fois sur un brassage panmictique, sont regroupés dans le tableau A-V-3. Les phénotypes correspondants des descendants du brassage panmictique identifiés par leur origine maternelle sont présentés ainsi que ceux des lignées parentales et ceux des lignées de même origine obtenues en sélection généalogique directe.

Nous avons représenté (planche V- 17) les lignées et leurs descendants après brassage panmictique par leur valeur moyenne et leur écart-type reporté de part et d'autre de celle-ci sous forme de segment. Nous observons :

- un resserrement des valeurs moyennes des descendants identifiés par la lettre P rappelant le brassage panmictique dont ils sont issus (à l'exclusion de P-241 devenu III), celles-ci étant alors comprises entre les valeurs extrêmes des lignées parentales.
- une dispersion moindre parmi les descendants, les écarts-types étant plus réduits que pour les lignées.

Cette diminution de la variabilité est confirmée par le calcul des paramètres de dispersion des moyennes et des écarts-types :

floraison (x) moyenne : 159,0
écart-type : 3,8

écart-type (Sx) moyenne : 7,8
écart-type : 1,6

corrélation floraison (x)/écart-type (Sx)

r = 0,32
test de conformité (hypothèse r = 0)

t = 0,83 non significatif à 6 degrés de liberté

L'absence de corrélation est dans ce cas le fait d'une dispersion très réduite ainsi qu'en témoigne le rectangle des valeurs limites de l'intervalle de confiance pour ces deux variables (graphique V- 19).

Pour ce dernier mode de diversification, travaillant sur un nombre de lots réduits (nombre de parents du brassage panmictique) nous avons augmenté les effectifs de chacun d'entre eux afin d'observer un effectif total de plantes Io comparable à celui des autres sélections convergentes.

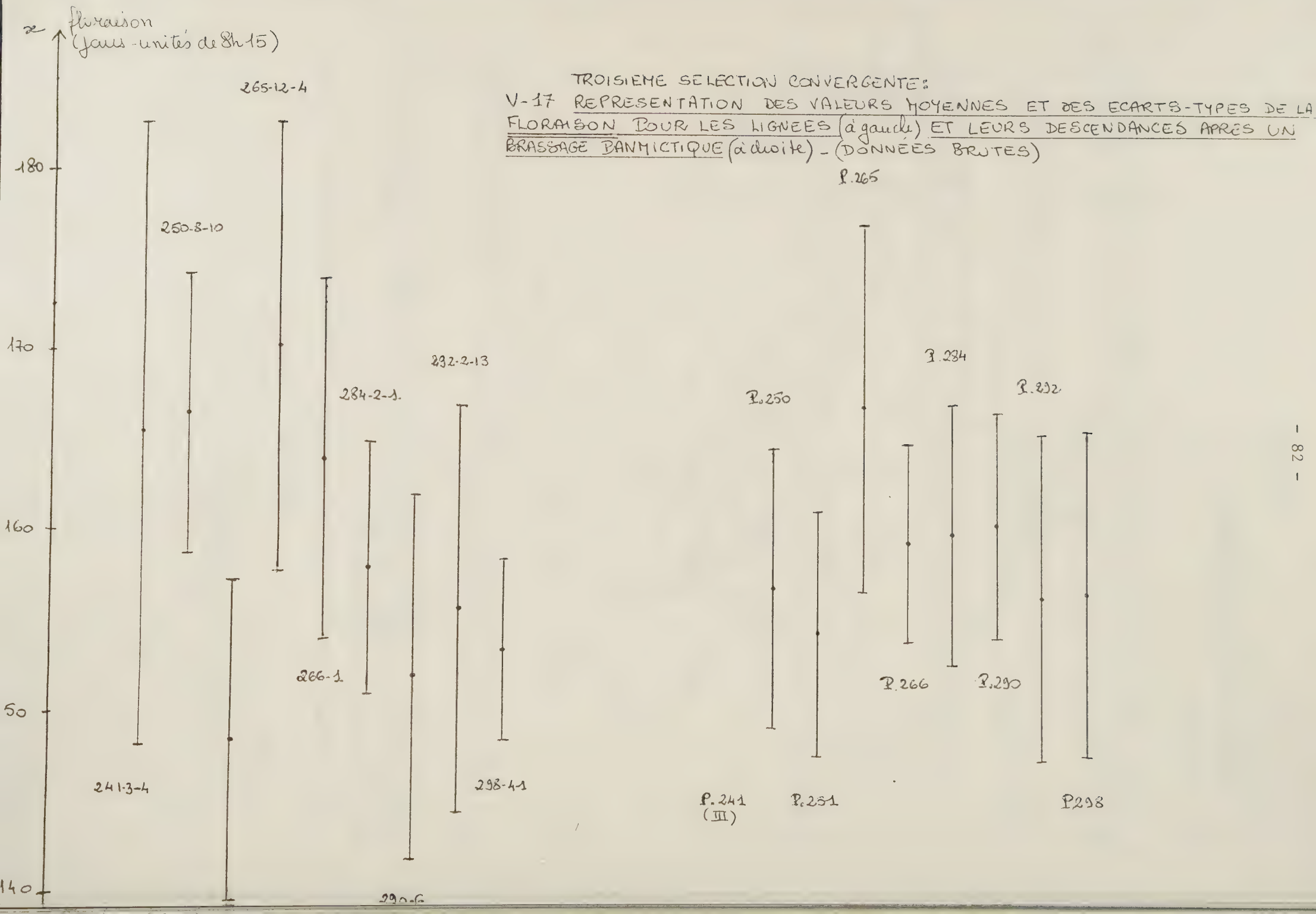
Les réponses observées parmi les descendants du brassage panmictique se répartissent en :

1 lot de type III
8 lots de type I dont :

6 du groupe de précocité B
2 " " " " C

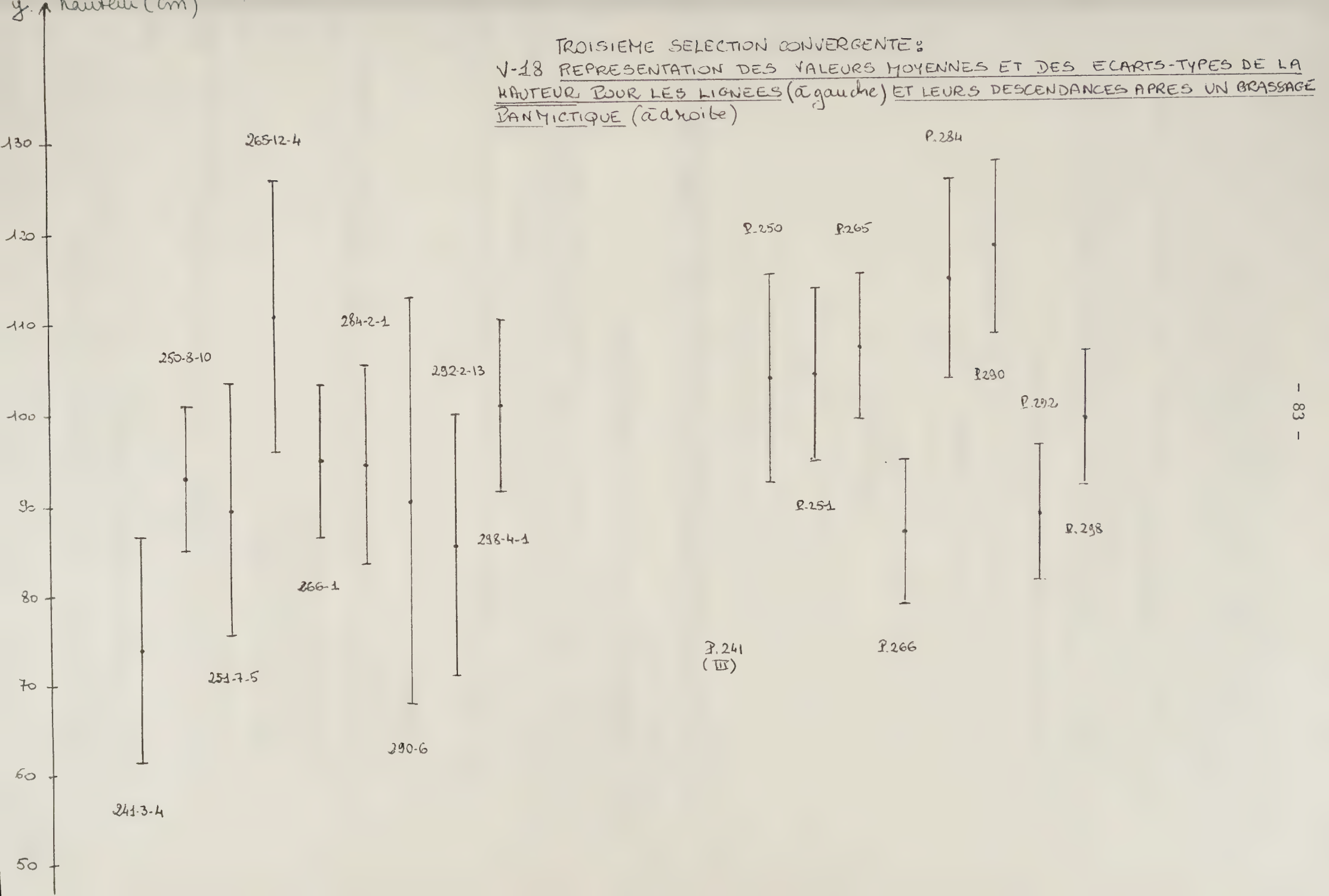
TROISIEME SELECTION CONVERGENTE:

V-17 REPRESENTATION DES VALEURS MOYENNES ET DES ECARTS-TYPES DE LA FLORAISON POUR LES LIGNEES (à gauche) ET LEURS DESCENDANCES APRES UN BRASSAGE PANMICTIQUE (à droite) - (DONNÉES BRUTES)



TROISIEME SELECTION CONVERGENTE :

V-18 REPRESENTATION DES VALEURS MOYENNES ET DES ECARTS-TYPES DE LA HAUTEUR POUR LES LIGNEES (à gauche) ET LEURS DESCENDANCES APRES UN BRASSAGE PANMICTIQUE (à droite)



V.3.42 hauteur.

Une présentation des résultats identique à celle retenue pour la floraison (graphique V-18) laisse apparaître :

- là aussi un resserrement des valeurs moyennes des descendants par rapport aux parents mais moins accentué ; les valeurs moyennes supérieures sont plus élevées chez les descendants.
- une dispersion moindre chez les descendants.

La dispersion observée en Io pour la hauteur est mesurée par :

hauteur (y)	moyenne :	103,1
	écart-type :	11,2
écart-type (Sy)	moyenne :	9,2
	écart-type :	1,6

corrélation hauteur (y)/écart-type (Sy)

r = 0,58
test de conformité (hypothèse r = 0)
t = 1,74 non significatif à 6 degrés de liberté

L'absence de corrélation est due ici à la grande similitude des dispersions quelle que soit l'origine de la descendance ; elle met en évidence l'absence d'effet maternel

V.4 - COMPARAISON EN I_0 DES VOIES DE DIVERSIFICATION

En suivant les résultats mentionnés au paragraphe V-3, nous avons tracé les rectangles des valeurs limites des intervalles de confiance pour chaque caractère (floraison et hauteur) : graphique V-19. Il s'agit donc de la représentation graphique de la variabilité engendrée en I_0 par chacune des voies de diversification.

Pour les deux caractères, c'est la première sélection convergente qui a entraîné la plus grande variabilité.

V.4.1 Floraison

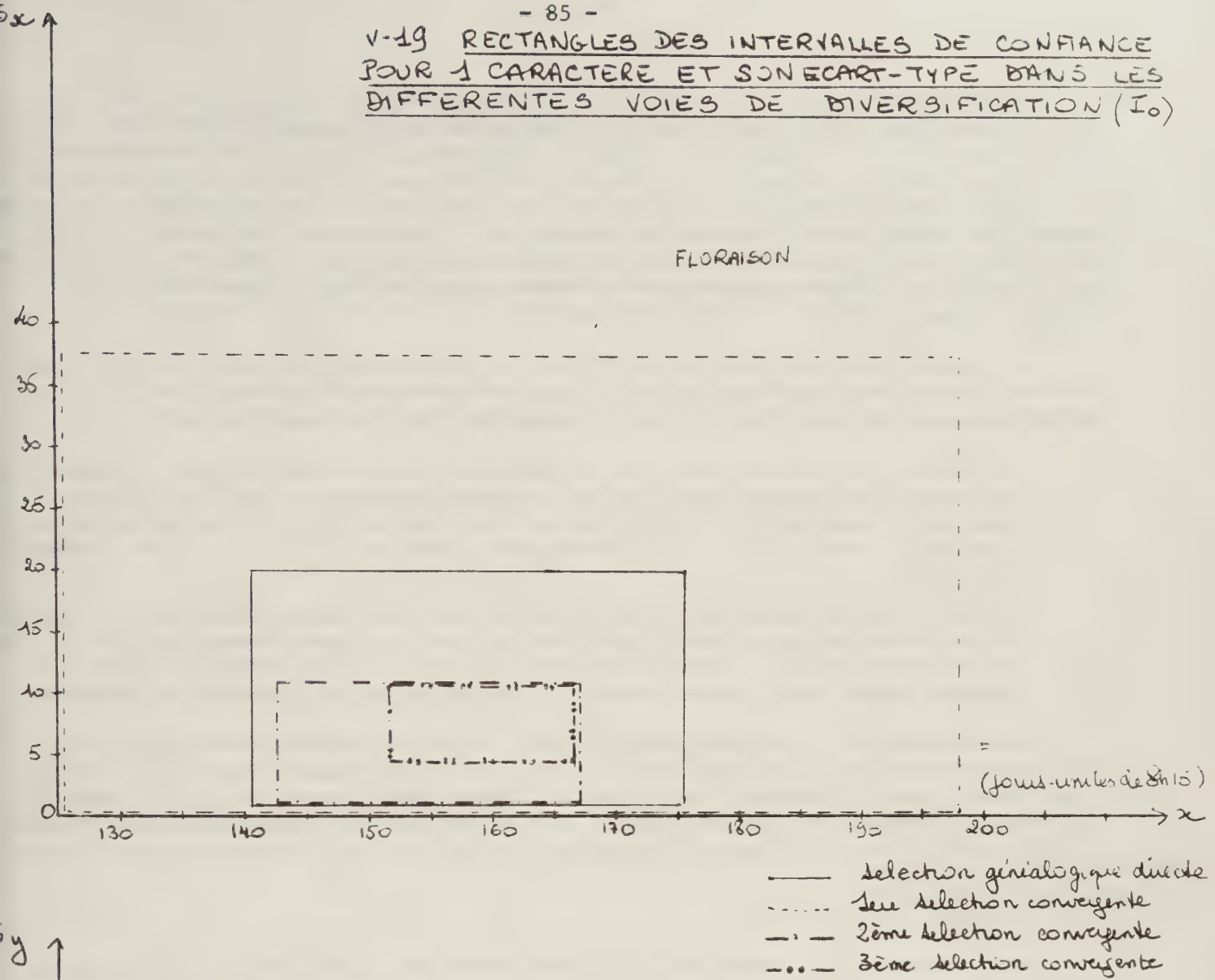
Les rectangles de dispersion des valeurs de floraison se présentent emboîtés dans l'ordre suivant, de la plus forte vers la plus faible variabilité :

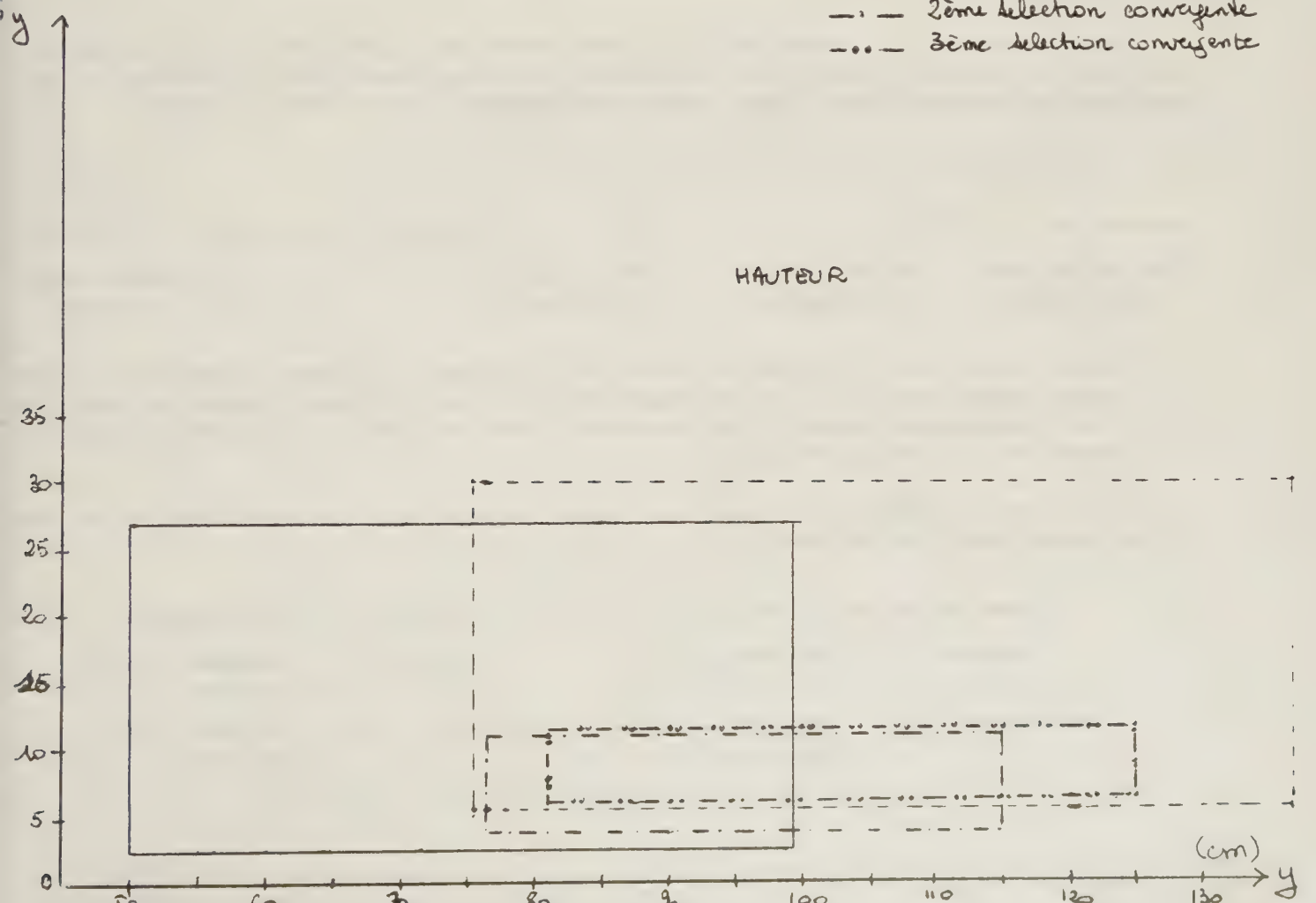
- 1ère sélection convergente
- sélection généalogique directe
- 2ème sélection convergente
- 3ème sélection convergente

Si maintenant, nous comparons les moyennes calculées de la floraison dans chacune des voies, nous trouvons le classement suivant (valeurs corrigées) :

154,8	158,0	159,0	161,9
2ème sélection convergente	généalogique directe	3ème sélection convergente	1ère sélection convergente

V-19 RECTANGLES DES INTERVALLES DE CONFIANCE POUR 1 CARACTERE ET SON ECART-TYPE DANS LES DIFFERENTES VOIES DE DIVERSIFICATION (I_o)





La deuxième sélection convergente présente donc la moyenne la plus favorable mais, compte tenu de la dispersion, la première sélection convergente serait la plus prometteuse. Le maximum de variabilité observé dans cette dernière voie serait dû à l'hybridation d'un matériel fortement hétérozygote et choisi en raison de ses phénotypes extrêmes quant à la floraison. A l'opposé les I_0 des deuxième et troisième sélections convergentes qui sont le résultat de l'hybridation d'un matériel déjà résultant de 2 ou 3 autofécondations et sélectionné pour une diminution de la valeur de la floraison, présente un certain hétérosis mais une variabilité réduite qui devrait se manifester à la génération suivante.

Une comparaison plus précise de l'effet de diversification aurait dû être basée sur les I_1 des deuxième et troisième sélection convergente vis-à-vis des I_0 de la sélection généalogique directe et de la première sélection convergente. En effet :

- la deuxième sélection convergente fondée sur des croisements entre lignées déjà fortement homozygotes exprimera une dispersion maximum en F_2 c'est-à-dire en I_1 dans notre terminologie. Au contraire, les lignées très hétérozygotes recroisées lors de la première sélection convergente conduisent à la plus forte dispersion dès la I_0.
- la troisième sélection convergente, basée sur un brassage panmictique, demande deux générations pour que s'établisse la structure panmictique, soit en I_1 dans ce cas aussi puisqu'il est invraisemblable que tous les génotypes aient été présents parmi ceux retenus dans la I_2 de la sélection généalogique directe.

Nous n'avons pu la réaliser puisque les I_1 ont été obtenues après qu'ait été réalisée une première sélection pour la précocité de floraison. Toutefois, celle-ci sera établie pour la hauteur, caractère faiblement sélectionné. En ce qui concerne le brassage panmictique, la comparaison est fondée sur une génération issue d'autofécondation et non d'une nouvelle panmixie d'où une variabilité quelque peu réduite.

V.4.2 Hauteur

Pour la hauteur, le graphique V-19, nous donne une représentation différente ; les trois méthodes de convergence conduisant à un important effet d'hétérosis. Les moyennes des hauteurs dans chaque voie, nous donnent le classement suivant :

106,4	103,1	95,8	74,7
1ère sélection convergente	3ème sélection convergente	2ème sélection convergente	généalogique directe

Pour ce caractère, la première sélection convergente a donné la meilleure moyenne et la plus forte variabilité. Elle paraît donc la plus efficace ; mais la troisième sélection convergente conduit à une moyenne et une variabilité comparables bien que la dispersion soit nettement moindre.

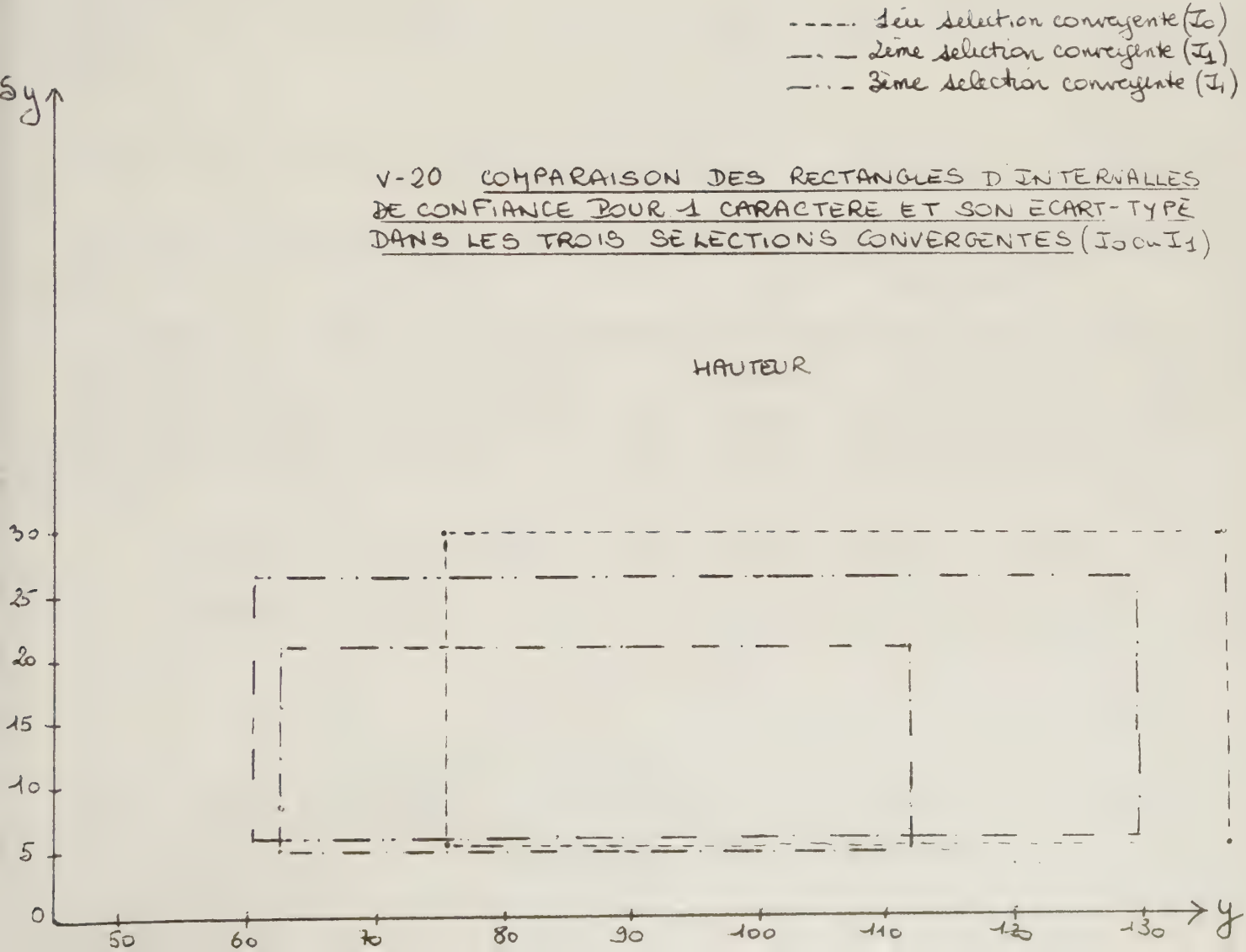
En I_1, les paramètres de dispersion calculés pour les deux dernières sélections convergentes sont les suivants :

2ème sélection convergente :		3ème sélection convergente :	
hauteur (y)	moyenne : 87,1 écart-type : 12,6	hauteur (y)	moyenne : 95,2 écart-type : 17,6
écart-type (Sy)	moyenne : 12,9 écart-type : 4,0	écart-type (Sy)	moyenne : 16,1 écart-type : 5,3

La comparaison avec la première sélection convergente est représentée par le graphique V-20. Celui-ci fait apparaître :

1) une perte d'hétérosis en I_1 qui place moins favorablement les deux dernières voies de convergence. Mais il ne peut être tenu compte de cet effet puisqu'il s'exprimera de la même façon en I_1 de première sélection convergente. Le classement des valeurs moyennes ne peut donc être établi ici ; toutefois, on peut remarquer qu'elles restent supérieures à celles de la sélection généalogique directe.

2) des dispersions de même ordre pour les trois modes de sélection convergente, ce qui confirme l'importance de la dispersion en I_1 pour les deux derniers.



V-20 COMPARAISON DES RECTANGLES D'INTERVALLES DE CONFIANCE POUR 1 CARACTERE ET SON ECART-TYPE DANS LES TROIS SELECTIONS CONVERGENTES (I_0 ou I_1)

En conclusion, les quatre voies de diversification retenues déterminent une forte variabilité tant inter-lot qu'intra-lot. Il est donc important de faire la part de l'hétérosis et de la fraction héritable pour les caractères étudiés. La dispersion jugée à des niveaux comparables met en évidence l'efficacité de la sélection convergente puisqu'elle est de même grandeur pour les sélections convergentes alors qu'elles sont issues d'un nombre d'origines très inférieur à celui retenu pour la collection de départ base de la sélection généalogique directe. Nous devons maintenant examiner le comportement du matériel issu de ces quatre sources de variabilité au travers de la sélection généalogique.

VI - COMPARAISON DES VOIES DE DIVERSIFICATION AU COURS DES SELECTIONS GENEALOGIQUES QUI LES ONT SUIVIES.

VI.1 - PRESENTATION DES RESULATS

VI.1.1 Description de la méthode

Nous avons appliqué la même méthode de sélection généalogique aux quatre sources de variabilité obtenues par chacune des voies de diversification. Le niveau de base a été appelé I_0, il s'agit donc :

- de la collection d'origine pour la sélection généalogique directe.
- des hybrides simples ou doubles directement issus des croisements pour la première et la deuxième sélection convergente.
- du produit du brassage panmictique pour la troisième sélection convergente.

Les générations ultérieures sont obtenues par autofécondation, après sélection pour les différents objectifs fixés (cf. paragraphe IV-2) ; elles sont identifiées par la lettre $I^{(1)}$ suivie en indice du nombre de cycles déjà réalisés (1 cycle = 1 choix phénotypique + 1 autofécondation). Le programme échelonné sur différentes campagnes jours courts est présenté en VI-1.

Au niveau I_6 à I_8, l'homogénéité obtenue pour les caractères travaillés apparaît satisfaisante. Or, en théorie, s'il n'y a pas de linkage et si tous les génotypes ont la même valeur sélective, on observe dans le cas d'un caractère monofactoriel 98,4 % de loci à l'état homozygote en I_6 et 99,6 en I_8 ; pour les mêmes conditions, on peut calculer le pourcentage de génotypes homozygotes selon le nombre de gènes en jeu (A-VI-5).

La sélection, choix des phénotypes favorables, tend à accélérer le processus de fixation ; le linkage peut agir dans le même sens ou en sens opposé.

Sans pouvoir être calculé, le nombre total de loci entrant dans notre étude peut être estimé à plusieurs dizaines. Ceci implique que le nombre de génotypes non homozygotes soit non négligeable à l'issue de la sélection généalogique.

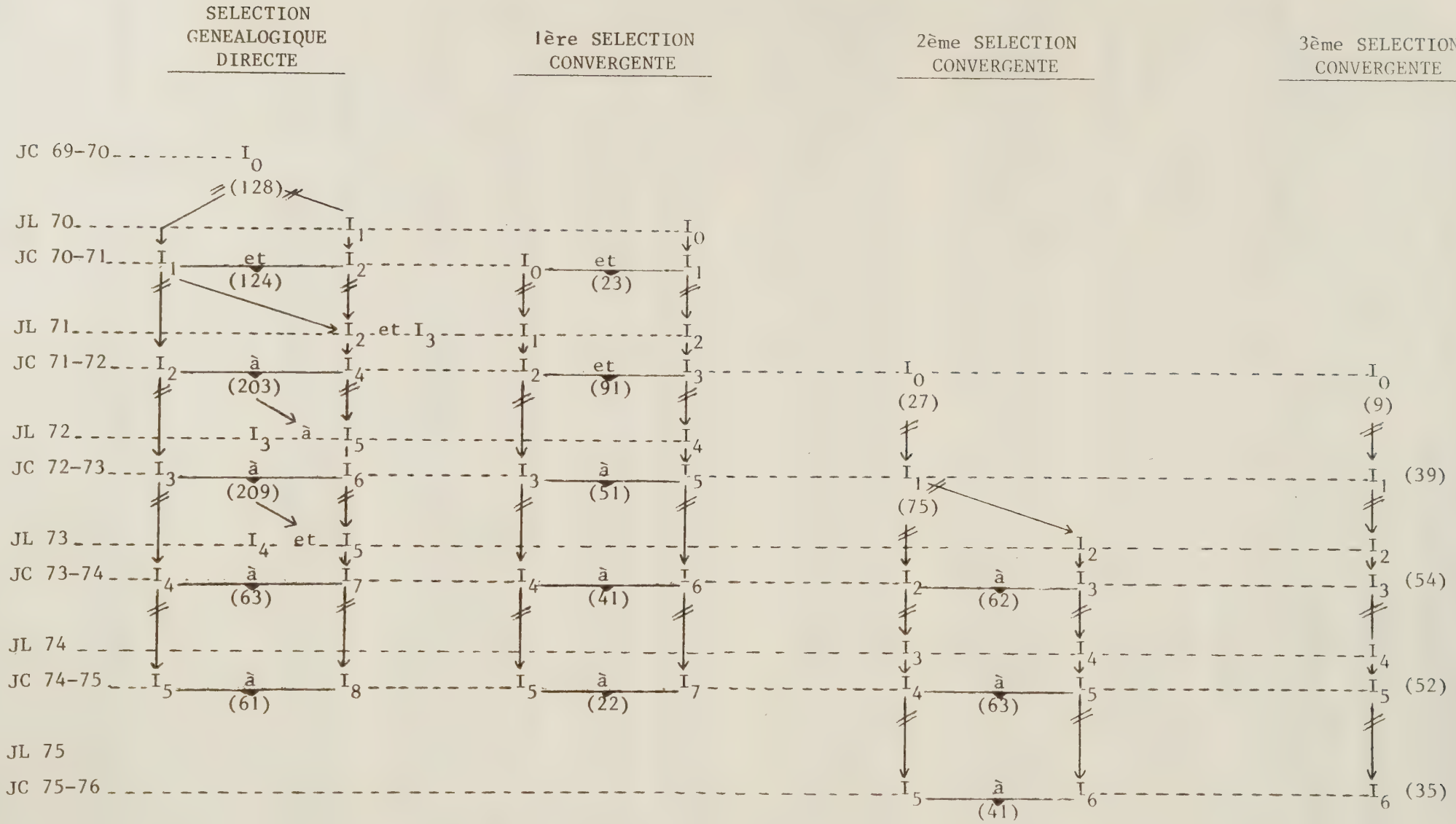
La perte de vigueur liée à l'autofécondation est relativement faible bien que l'Antirrhinum soit une espèce allogame. Toutefois, quelques génotypes ont été éliminés de ce fait dès les premières générations (5 % environ). Pour les autres, le stade I_6 à I_8 est atteint sans amoindrissement de la vigueur; bien plus, pour la majorité des lignées, le niveau de qualité conservé permettrait une exploitation directe sous la forme de variétés-lignées pures. Toutefois, celle-ci ne peut être réalisée en raison de :

- l'absence de protection variétale pour la plupart des espèces florales à multiplication sexuée et en particulier pour l'Antirrhinum
- l'abaissement du coefficient de multiplication (aptitude à la grenaison).

---

(1) I : Symbole correspondant à "Inbred generations" qui désigne les générations en consanguinité (Inbreeding) ici en autofécondation.

VI-1. PROGRAMME DE SELECTION SUR ANTIRRHINUM - PHASE DE SELECTION GENEALOGIQUE



Abréviations : JC = Jours Courts
JL = Jours Longs
( ) = Nombre de lots
// = Choix phénotypique pour les caractères retenus.

En ce qui concerne l'aptitude à la grenaison, nous avons noté sa décroissance au cours des générations, marquée par une diminution du nombre de graines produites par fleurs fécondées. Ceci nous a obligé à augmenter le nombre des autofécondations à réaliser à chaque cycle. Toutefois, à partir du niveau I_6 à I_8 selon les génotypes, le coefficient de multiplication décroît rapidement. Les générations ultérieures sont donc produites en croisements frères x soeurs contrôlés (avec fécondation manuelle) ou libres (après isolement de la lignée).

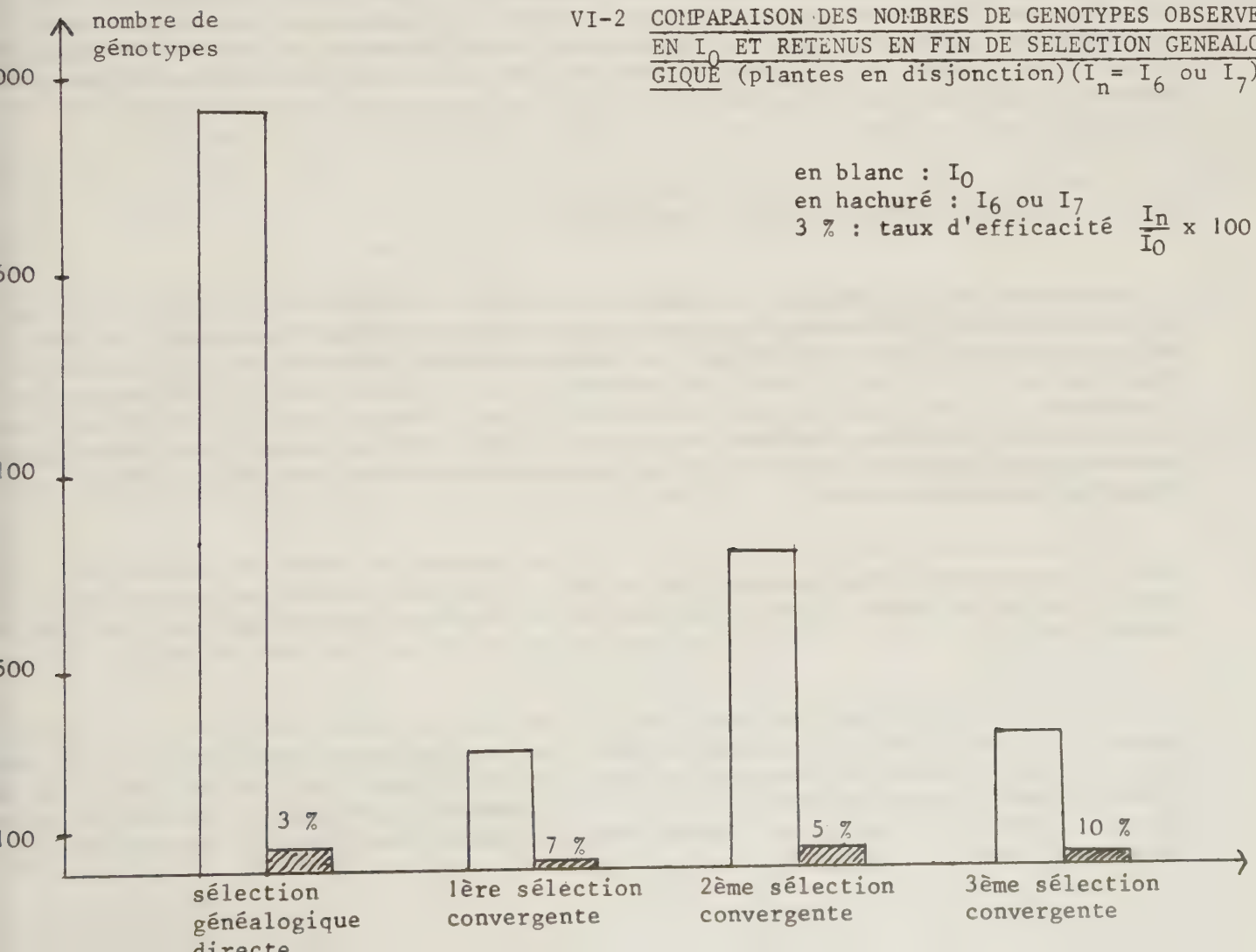
Enfin, il faut noter que si les critères de sélection ont été les mêmes quelle que soit l'origine de la I_0 (floraison, hauteur, coloris, port et allure de l'inflorescence), les conditions de jugement ont varié du fait du décalage des générations.

En effet, les sélections convergentes appliquées à des niveaux différents ont conduit à noter un cycle comparable (I_2 par exemple) sur des campagnes jours courts différentes. Nous avons vu précédemment (cf. paragraphe V-2) l'incidence de ceci sur la floraison et la correction qui peut être appliquée.

VI.1.2 Efficacité comparée

Des comparaisons établies sur le niveau final atteint en fin de sélection généalogique sont concevables puisqu'on peut estimer que globalement les effets des campagnes jours courts successives se sont compensés. Ceci est d'autant plus vraisemblable que, pour un même mode de diversification original, une même génération a été sélectionnée à travers différents essais en jours courts (par exemple, pour la première sélection convergente, la génération I_3 a été jugée durant les campagnes 71 II et 72 I).

VI-2 COMPARAISON DES NOMBRES DE GENOTYPES OBSERVES EN I_0 ET RETENUS EN FIN DE SELECTION GENEALOGIQUE (plantes en disjonction) ($I_n = I_6$ ou I_7)



Si maintenant nous considérons, pour chacune des voies de diversification, le nombre de génotypes favorables fixés en I_6-I_7, le graphique VI-2 les représente de valeurs comparables (bandes hachurées). Par contre, le taux d'efficacité que l'on peut mesurer par :

$$\frac{\text{nombre de génotypes favorables fixés en } I_6\text{-}I_7}{\text{nombre de génotypes observés en } I_0}$$

varie sensiblement d'une voie à l'autre. Un classement par ordre d'efficacité croissant nous donne :

		nombre de lots à l'origine
sélection généalogique directe	3,2 %	(128)
2ème sélection convergente	5,1 %	(26)
1ère sélection convergente	7,4 %	(17)
3ème sélection convergente	9,8 %	(9)

Ce classement se confond avec celui obtenu en considérant le nombre décroissant de variétés ou de lignées se trouvant à l'origine de chacune des voies (chiffre indiqué entre parenthèses).

Suivant ce critère, nous pouvons mettre en avant l'importance de la recombinaison dans les systèmes de convergence puisque ceux-ci paraissent sensiblement plus efficaces qu'une sélection généalogique directe qui ne fait appel qu'au brassage méiotique.

D'autre part, il semble significatif que le choix des lots à l'origine de la I_0 soit plus déterminant que leur importance numérique. Il ne faut pas perdre de vue toutefois que c'est parmi une collection variétale de grande taille que nous avons pu choisir les génotypes qui sont entrés dans les différentes sélections convergentes. En outre les lignées à l'origine des 2ème et 3ème sélections convergentes s'appuient sur un travail de sélection et d'autofécondation préalables (sélection généalogique directe).

VI.2 - LE COMPORTEMENT DU PORT DE LA PLANTE

Nous avons vu précedemment comment était noté ce caractère (paragraphe IV.3.32). Il n'a fait l'objet d'aucune étude antérieure de déterminisme à une exception près : la description du gène *eramosa* dont la forme récessive induit une absence totale de ramification (H. STUBBE - 1933). Ce caractère est, en outre, lié à la présence de fleurs petites, déformées et pratiquement stériles ; toutefois, il a été possible de rompre cette liaison et d'obtenir une plante à inflorescence normale sans développement axillaires (H. STUBBE - 1949). Le phénotype ainsi obtenu est comparable au port unicaulis précedemment défini.

Le caractère unicaulis tel que nous l'avons observé au cours des générations s'est révélé d'un déterminisme complexe. Son étude n'a pas été possible en raison de l'effectif limité de chaque lignée d'une part et de la sélection phénotypique réalisée à chaque génération et qui a fait converger le matériel vers le type unicaulis.

Le port, bien que jugé de façon qualitative, est un caractère quantitatif puisqu'il mesure l'intensité de la dominance apicale ; sa notation s'est d'ailleurs avérée délicate puisque la variation observée est continue conduisant d'un type à l'autre par des étapes intermédiaires (unicaulis, unicaulis à pyramidal, pyramidal à unicaulis, pyramidal). Ainsi, ce caractère se trouve être vraisemblablement sous la dépendance de plusieurs gènes.

De la sélection généalogique, peuvent être tirées quelques indications sur le déterminisme du port unicaulis. L'essai de comportement de la collection d'origine dont les résultats figurent au tableau A-IV-1 a révélé vingt et un lots homogènes unicaulis (253, 265, 266, 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275, 278, 290, 291, 292, 299, 400, 405, 407, 414, 425 et 429). Parmi les quinze qui ont été suivis d'une sélection généalogique, un seul s'est révélé unicaulis, homogène et stable dans les générations suivantes (272). Pour les quatorze autres, le retour vers l'état unicaulis s'est produit selon des modes différents. Les notations ont été regroupées dans le tableau VI-3.

Les dix premières lignes du tableau présentent les cas où le retour vers le phénotype unicaulis stable a été observé. Ce phénomène s'est produit plus ou moins rapidement (de la I_1 à la I_6) ; ceci prouve que le port unicaulis met en jeu plus d'un allèle récessif. En effet, le choix phénotypique à chaque génération en disjonction se portant sur les plantes unicaulis, l'état stable aurait, dans l'hypothèse d'un déterminisme monogénique, été atteint en I_2.

L'examen des 8 lignes suivantes révèle les cas où l'état unicaulis est non fixé c'est-à-dire qu'après avoir observé à une génération une lignée homogène unicaulis, on note à la génération suivante la présence de phénotypes différents. Ceci suppose que le déterminisme du port unicaulis fasse intervenir au moins un allèle dominant.

L'observation des autres généalogies nous a confirmé la complexité du déterminisme du port : nombre élevé de gènes en jeu, rôle d'allèles dominants et d'allèles récessifs. D'autre part, il est à noter que ce caractère peut être modifié par plusieurs facteurs contrôlables :

. la densité de plantation : son accroissement produit une diminution du développement des ramifications. Pour éliminer l'action de ce facteur, toutes les générations ont été réalisées à la même densité (cf. paragraphe III-4-1).

. la date de semis : les semis les plus tardifs -conduisant donc à des floraisons durant les jours les plus courts- ont tendance à provoquer une diminution du développement des ramifications. Les observations réalisées lors de la campagne jours courts 1971 sont représentatives de cet effet puisque les mêmes lots ont été jugés à travers deux dates de semis à treize jours d'intervalle (10 août et 23 août) (tableau A-VI-1).

. le type de culture : le port jugé lors des campagnes jours courts, sous serre peut différer du port observé lors des campagnes jours longs en pleine terre (cf. paragraphe III-5) ; la sélection phénotypique pour ce caractère n'est réalisée que dans le premier type de culture.

Enfin, le port est modifié par certains éléments incontrôlables : ensoleillement durant la période d'élevage des plants, luminosité pendant la culture, divers facteurs jouant sur la vitesse de croissance (hygrométrie, nutrition minérale, etc...).

VI- 3 EVOLUTION DU PORT A TRAVERS LA SELECTION GENEALOGIQUE PARMI LES LOTS I_0 JUGES UNICAULIS

idendité de la lignée à la 1ère génération où elle a été jugée de nouveau unicaulis	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
272-8	U	U	–	–	–	–
268-9-5, 400-3-1, 407-1-6 (-17)	H	U	U	U	U*	U*
266-1-2-15, 266-1-2-16, 268-5-5-15, 271-5-4-16, 271-5-4-29, 271-5-4-36, 275-8-5-24, 278-5-8-8, 278-5-8-18, 278-5-12-2, 278-5-12-14, 278-8-14-5	H	H	U	U	U*	U*
299-9-17-28-7, 299-9-17-28-15, 400-3-8-8-1	H	H	H	U	U	U*
270-5-1-11-2	P	H	H	U	–	U
292-6-14-5-12-6	H	H	P	P	U	–
270-5-1-11-11-1	P	H	H	P	U	–
292-2-13-7-12-8	H	H	P	H	U	–
271-5-9-14-7-8-11, 275-8-5-2-4-15-8	H	H	H	H	H	U
292-2-13-5-5-13-12	H	H	H	P	H	U
275-8-5-2-4-4, 275-8-5-2-4-5	H	H	H	H	U	H
271-5-6-7	H	H	U	H	H	–
292-2-10 (-5), 405-12-11	H	U	U	H	U	U
292-2-10 (-6)	H	U	U	P	U	P
274-4-2 (-4-2)	H	U	H	H	U	H
274-4-2 (-4-9)	H	U	H	U à P	U	H
278-3-1, 407-1-6 (-10), 290-8-4	H	U	H	U	U	U*
265-12-14	H	U	P	U	U	–

Abréviations :
H : hétérogène
P : port pyramidal
U à P : ports intermédiaires entre unicaulis et pyramidal
U : port unicaulis
*: génération représentée pour certaines des lignées mentionnées.

VI.3 - EFFICACITE COMPAREE DE LA SELECTION DES CARACTERES QUANTITATIFS SELON LES VOIES DE DIFFERENCIATION

Chacune des plantes constituant les lignées suivies en sélection généalogique a fait l'objet de notations et ceci pour toutes les méthodes de diversification appliquées dès l'origine. Ces notations ont été analysées par lignées et figurées dans le cas des caractères quantitatifs par leur moyenne et leur écart-type. Ces données sont regroupées dans les tableaux :

A.VI-1 pour la sélection généalogique directe
A.VI-2 pour la première sélection convergente
A.VI-3 pour la deuxième sélection convergente
A.VI-4 pour la troisième sélection convergente

La synthèse de ces notations permet une comparaison des méthodes de diversification au travers de la sélection généalogique. Toutefois, cette étude est limitée par deux types de difficultés :

1) le décalage des générations déjà évoqué (paragraphe V-2).

2) la possibilité, dans la plupart des cas, de n'analyser qu'une génération sur deux du fait de l'utilisation de cycles de fixation "aveugles" en période de jours longs.

La première difficulté sera palliée en ce qui concerne la floraison par l'utilisation d'un terme correctif mesuré par l'écart de la moyenne de la campagne considérée à la moyenne de la campagne 69 I (tableau V-2). Pour les autres caractères, la hauteur et le groupement de la floraison, il est vraisemblable que le décalage des générations a pu avoir un effet variable, selon la campagne et l'origine du lot, mais dans tous les cas non quantifiable.

La deuxième difficulté nous conduit à des tableaux de résultats partiellement remplis selon que, pour une génération donnée (I_3 par exemple), le lot considéré aura été jugé en jours courts ou noté en jours longs. Pour rester dans des conditions comparables, c'est-à-dire pour étudier des lignées qui auront toujours la même origine, nous ne pourrons analyser qu'une génération sur deux.

Par ailleurs, il est intéressant d'évaluer, pour les caractères étudiés, l'héritabilité au sens étroit, c'est-à-dire la fraction de la variance phénotypique attribuable à l'effet d'additivité des gènes. En effet, cette valeur nous permet de mesurer le progrès maximum que l'on peut attendre de la sélection généalogique et qui s'exprimera au niveau de la valeur propre des lignées.

Une méthode d'estimation de la variance d'additivité a été présentée par D.S. FALCONER (1974). Elle est basée sur le calcul du coefficient de régression parents x descendants. Etant donné l'importance des différences observées entre les deux premières générations, nous l'avons utilisée sous sa forme généralisée présentée par F. LE COCHEC (1971) d'après I. MAHMOUD et H.H. KRAMER (1951) :

$$h^2 = \frac{\bar{x}}{\bar{y}} \times b_{yx}$$

où h^2 = héritabilité au sens étroit
$\bar{x}$ = moyenne de la génération parentale (I_0)
$\bar{y}$ = moyenne de la génération I_1
b_{yx} = coefficient de régression de la descendance I_1 en fonction des parents I_0

Chacune des voies de diversification a permis le calcul d'une valeur de l'héritabilité au niveau des générations I_0 et I_1 (VI-4).

VI-4 VALEURS DE L'HERITABILITE AU SENS ETROIT DE LA FLORAISON ET DE LA HAUTEUR SELON LA VOIE DE DIVERSIFICATION

voie de diversification	floraison	hauteur
sélection généalogique directe	0,68	0,45
première sélection convergente	0,89	0,45
deuxième sélection convergente	0,66	0,49
troisième sélection convergente	0,65	0,48

Les valeurs de l'héritabilité sont constantes pour un même caractère à travers les différentes voies de diversification si on excepte pour la floraison la première sélection convergente. Ceci exprime d'une autre manière que le matériel génétique qui a servi de base à chacune des sélections généalogiques est bien de même nature; cela correspond au fait qu'il est issu de la même collection (I_0 de la sélection généalogique) et qu'il n'a pas fait l'objet d'un choix en fonction des caractères retenus : floraison et hauteur. Cela n'est pas vrai en ce qui concerne la floraison pour la première sélection convergente puisque ce sont des phénotypes précoces, d'une part et des phénotypes moyens à tardifs, d'autre part qui ont été choisis pour réaliser la I_0 (paragraphe V.1-). Ceci explique l'existence d'une valeur différente de l'héritabilité.

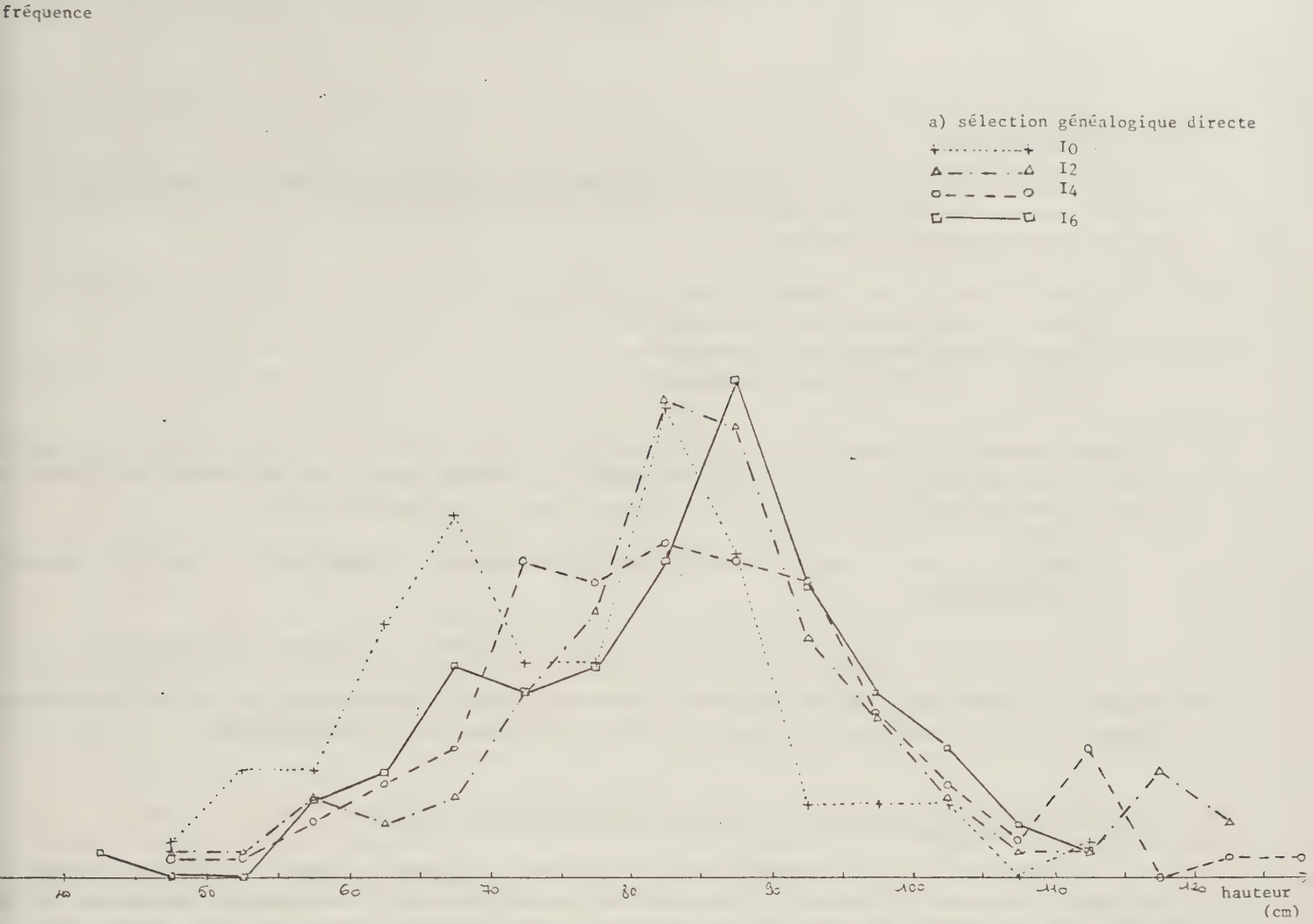
L'héritabilité de la floraison est élevée puisqu'au minimum 65 % de la valeur phénotypique est due à l'additivité des gènes. Ceci est compatible avec la valeur de l'héritabilité au sens large antérieurement calculée (Y. MITTEAU - 1974) ; il a montré que celle-ci définie par le rapport :

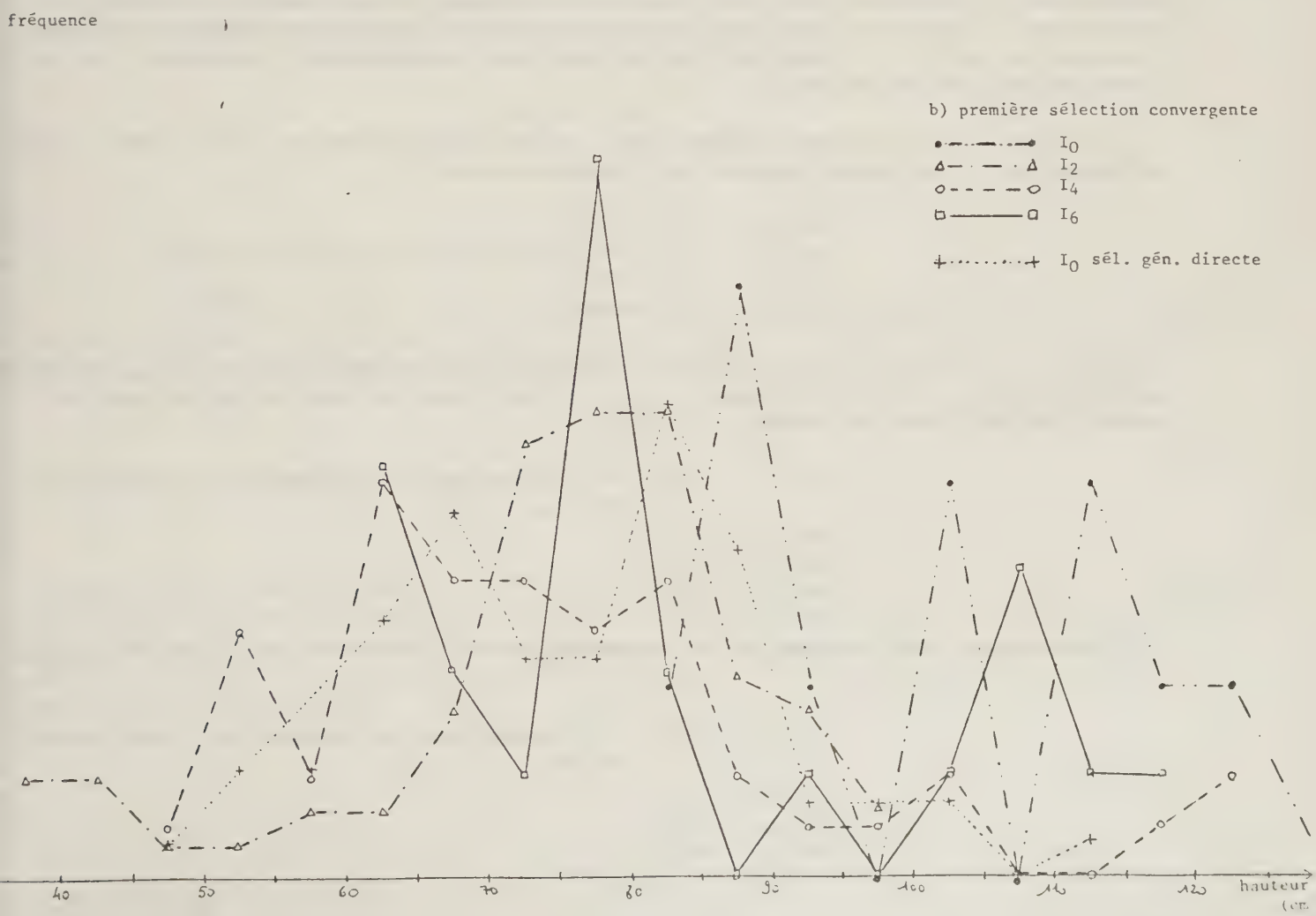
$$\frac{\text{variance génétique}}{\text{variance phénotypique}}$$

est de 0,90 parmi les générations I_1 et I_2 de la sélection généalogique. Pour la hauteu la fraction de variance due à l'additivité est moyenne puisqu'elle est inférieure à 50

Dans ce qui suit, le terme héritabilité sera utilisé dans son acception d'héritabilité au sens étroit.

VI- 5. DISTRIBUTIONS DE LA HAUTEUR DANS DIFFERENTES GENERATIONS : POLYGONES DE FREQUENCES





VI.3.1 la hauteur

Les graphiques VI-5 et VI- 6 présentent la distribution des fréquences des différentes valeurs de la hauteur notées dans plusieurs générations pour chacune des voies de diversification :

VI-5-a sélection généalogique directe
VI-5-b 1ère sélection convergente
VI-6-a 2ème sélection convergente
VI-6-b 3ème sélection convergente

Sur chaque représentation graphique figure, en pointillé, la dispersion observée dans la collection d'origine, c'est-à-dire la génération I_0 de la sélection généalogique directe. Les générations ultérieures sont représentées par :

. les I_2, I_4 et I_6 pour la sélection généalogique directe et la première sélection convergente,

. les I_1, I_3 et I_5 pour les deuxième et troisième sélections convergentes,

le décalage des générations étudiées entre les deux premières voies et les suivantes étant lié à la deuxième difficulté évoquée au début de ce paragraphe.

VI.3.11 Sélection généalogique directe (graphique VI-5-a)

La collection d'origine (I_0 de la sélection généalogique directe) présente une large dispersion puisqu'elle comporte des lots ayant pour hauteur moyenne de 45 à 115 cm. Or, cette dispersion se retrouve pratiquement identique dans toutes les générations ultérieures ; il faut rappeler ici que ce caractère n'a fait l'objet pratiquement d'aucune sélection directe. Le graphique VI-5-a met donc en évidence l'absence de perte de vigueur en liaison avec une consanguinité croissante tout au moins jusqu'à la génération I_6.

Le calcul de la hauteur moyenne pour chacune des générations révèle une légère amélioration de la valeur moyenne des lignées puisque :

en I_0 $\bar{y} = 76,5$
en I_2 $\bar{y} = 85,0$
en I_4 $\bar{y} = 83,9$
en I_6 $\bar{y} = 83,4$

Ceci montre l'existence d'une certaine sélection inconsciente en faveur des individus les plus élevés. Cet effet transparait aussi au niveau du taux de phénotypes de grande taille puisqu'on note :

en I_0 4,6 % de lignées dont la moyenne est supérieure à 100 cm
en I_2 12,5 %
en I_4 12,7 %
en I_6 10,1 %

Il s'accompagne parallèlement de la disparition de plantes de petite taille puisqu'il y a :

en I_0 10,8 % de lignées dont la moyenne est inférieure à 60 cm
en I_2 5,7 %
en I_4 4,0 %
en I_6 4,5 %

Cette évolution est en fait la conséquence de la sélection pour l'adaptation aux jours courts, la liaison hauteur-floraison déjà mise en évidence (paragraphe IV.3-4), impliquant le choix de phénotypes dont la vitesse de croissance soit plus grande c'est-à-dire de taille plus élevée pour une précocité comparable.

VI.3.12 Première sélection convergente (graphique VI-5-b)

Contrairement à la représentation graphique figurée pour la sélection généalogique directe, on n'observe pas ici de concordance entre les générations :

. dès la I_2, la dispersion est plus réduite

. quant aux moyennes, elles évoluent de façon différente :

en I_0 $\bar{y} = 97,2$ (1ère sélection convergente)
en I_2 $\bar{y} = 79,7$
en I_4 $\bar{y} = 67,6$
en I_6 $\bar{y} = 80,2$

c'est-à-dire que la moyenne est la plus élevée en I_0 (génération issue des croisements) puis elle décroit en I_2 et I_4 pour retrouver en I_6 une valeur comparable à celle notée en sélection généalogique directe ($\bar{y} = 83,4$).

Dans ce cas, l'effet d'hétérosis est important ainsi que le révèlent la moyenne et la représentation graphique de la I_0. Les générations ultérieures montrent la perte progressive de l'hétérosis et l'acquisition d'une moyenne en I_6 voisinant celle de la sélection généalogique directe, preuve que la sélection inconsciente en faveur des génotypes de taille élevée s'est aussi opérée dès qu'elle a été efficace, c'est-à-dire lorsque l'effet d'hétérosis n'a plus été sensible. L'évolution du taux d'individus dont la taille est supérieure à 100 cm confirme aussi ceci puisqu'en :

I_0 il est de 58,3 % (1ère sélection convergente)
I_2 il est nul
I_4 10,4 %
I_6 26,1 %

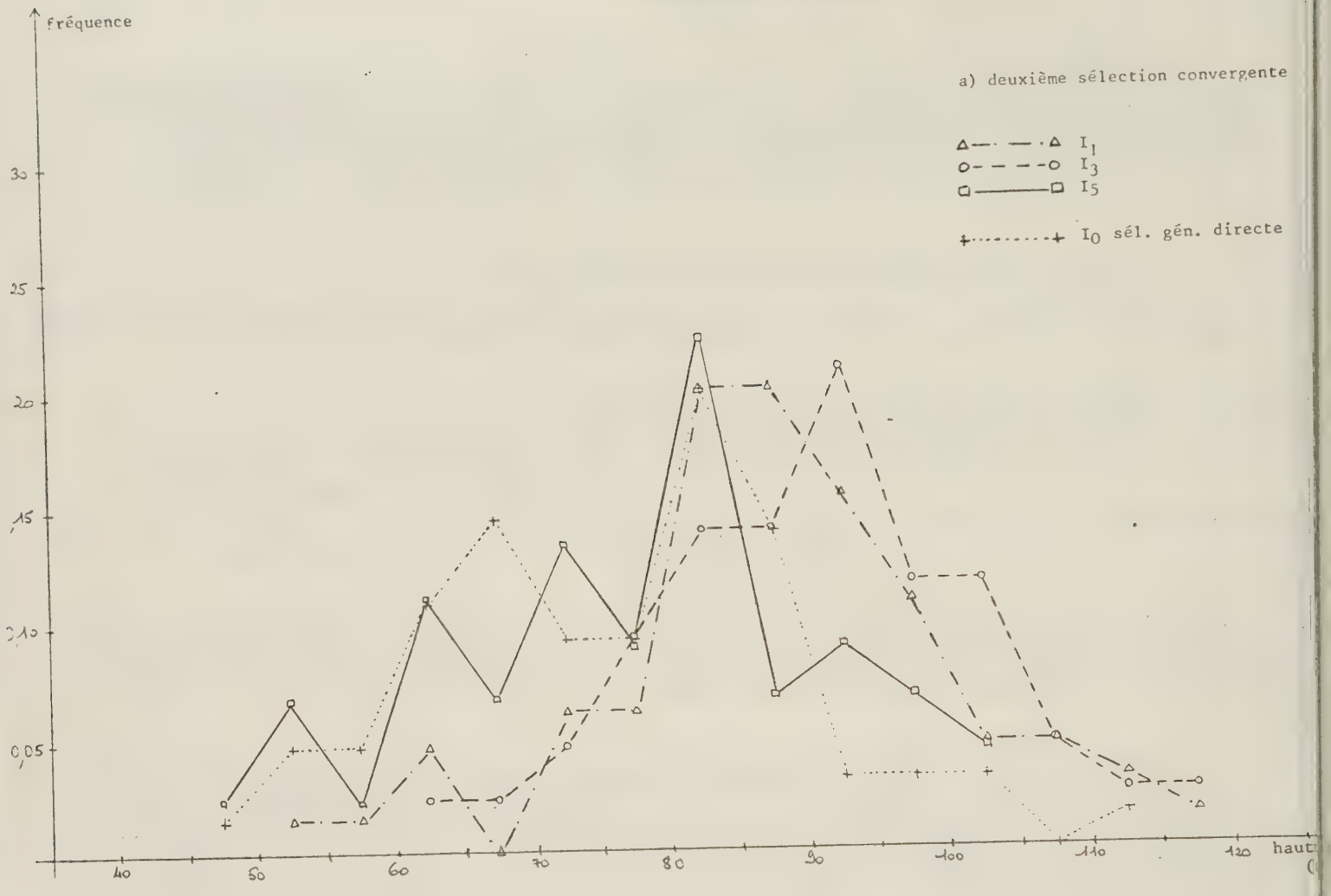
VI.3.13 Deuxième sélection convergente (graphique VI-6-a)

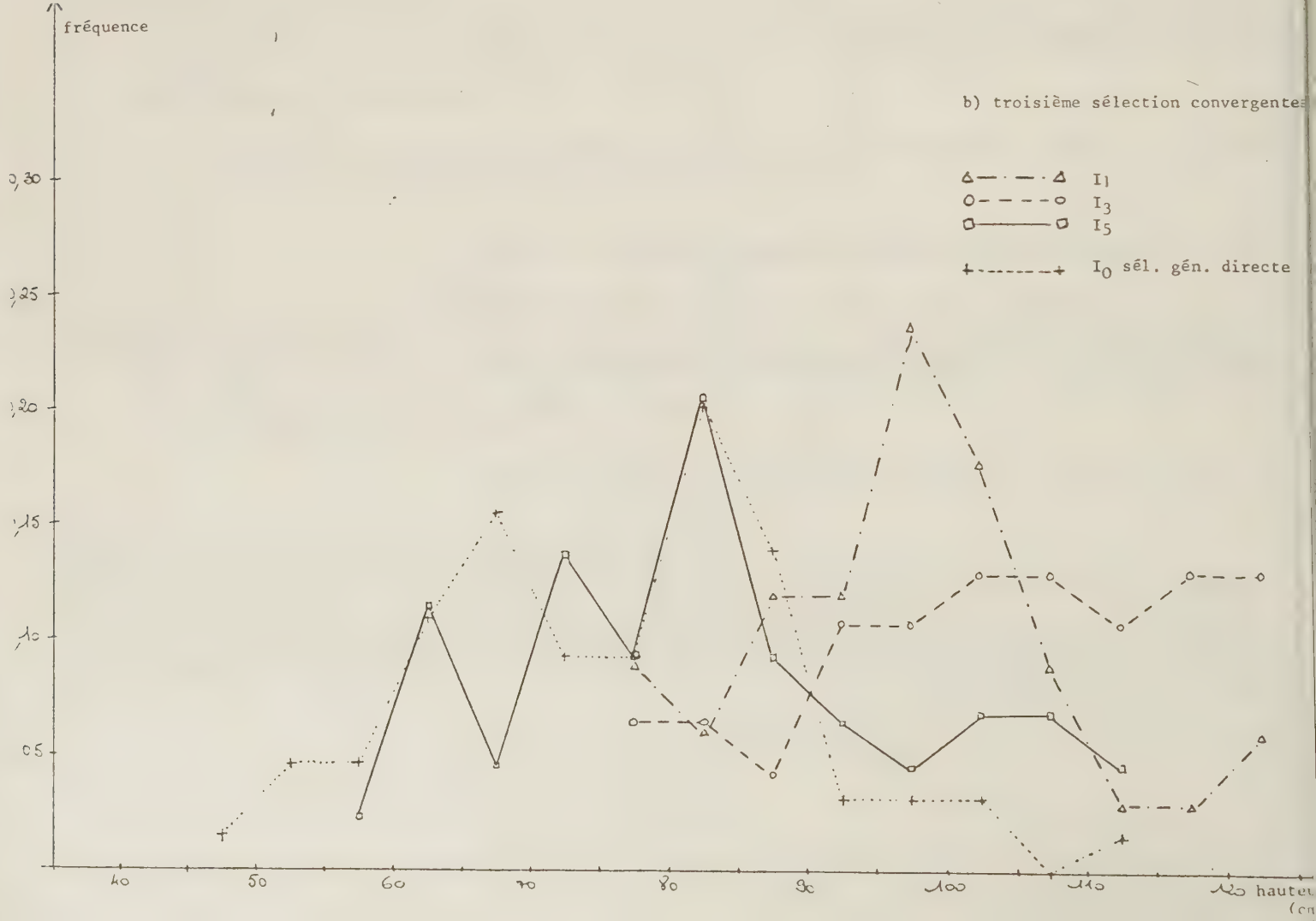
Le graphique VI-6-a montre un important effet d'hétérosis en I_1 et I_3 alors que la distribution observée en I_5 est très voisine de celle de la I_0 de sélection généalogique directe. Les moyennes calculées témoignent de ceci :

en I_0 $\bar{y} = 95,2$ (2ème sélection convergente)
en I_1 $\bar{y} = 89,5$
en I_3 $\bar{y} = 91,8$
en I_5 $\bar{y} = 75,2$

Ainsi l'effet d'hétérosis, s'il apparaît comparable en I_0 à celui observé pour la première sélection convergente, se révèle encore très important au niveau des générations ultérieures (I_1 et I_3). Le retour en I_5 vers une moyenne et une dispersion comparables à celles de la collection d'origine se justifierait par le fait que la sélection incontrôlée en faveur de phénotypes de taille élevée ne s'est pas exercée, en raison de l'importance de l'hétérosis.

VI- 6 DISTRIBUTIONS DE LA HAUTEUR DANS DIFFERENTES GENERATIONS : POLYGONES DES FREQUENCES





VI.3.14 Troisième sélection convergente (graphique VI-6-b)

Pour la dernière voie de diversification appliquée, l'effet d'hétérosis apparaît dans ce cas aussi très fortement marqué en I_1 et I_3. La I_5 présente une dispersion proche de la I_0 de la sélection généalogique directe pour les faibles tailles (moitié gauche du graphique) par contre, le taux des individus de grande taille (moitié droite du graphique) est nettement supérieur, ce qui implique une moyenne plus élevée. En effet :

I_0	$\bar{y}$ = 103,1 (3ème sélection convergente)
I_1	$\bar{y}$ = 97,4
I_3	$\bar{y}$ = 103,7
I_5	$\bar{y}$ = 84,7

La valeur élevée de la I_5 doit être imputée à l'existence de cas transgressifs révélés par un taux d'individus de haute taille supérieur en I_3 à celui de la I_1. Ce taux demeure important en I_5 malgré un niveau d'homozygotie plus élevé :

I_0	62,5 % d'individus de taille supérieure à 100 cm
I_1	38,2 %
I_3	61,7 %
I_5	18,2 %

Ce dernier taux est intermédiaire entre celui noté en I_6 pour la sélection généalogique directe (10,1 %) et la première sélection convergente (26,1 %).

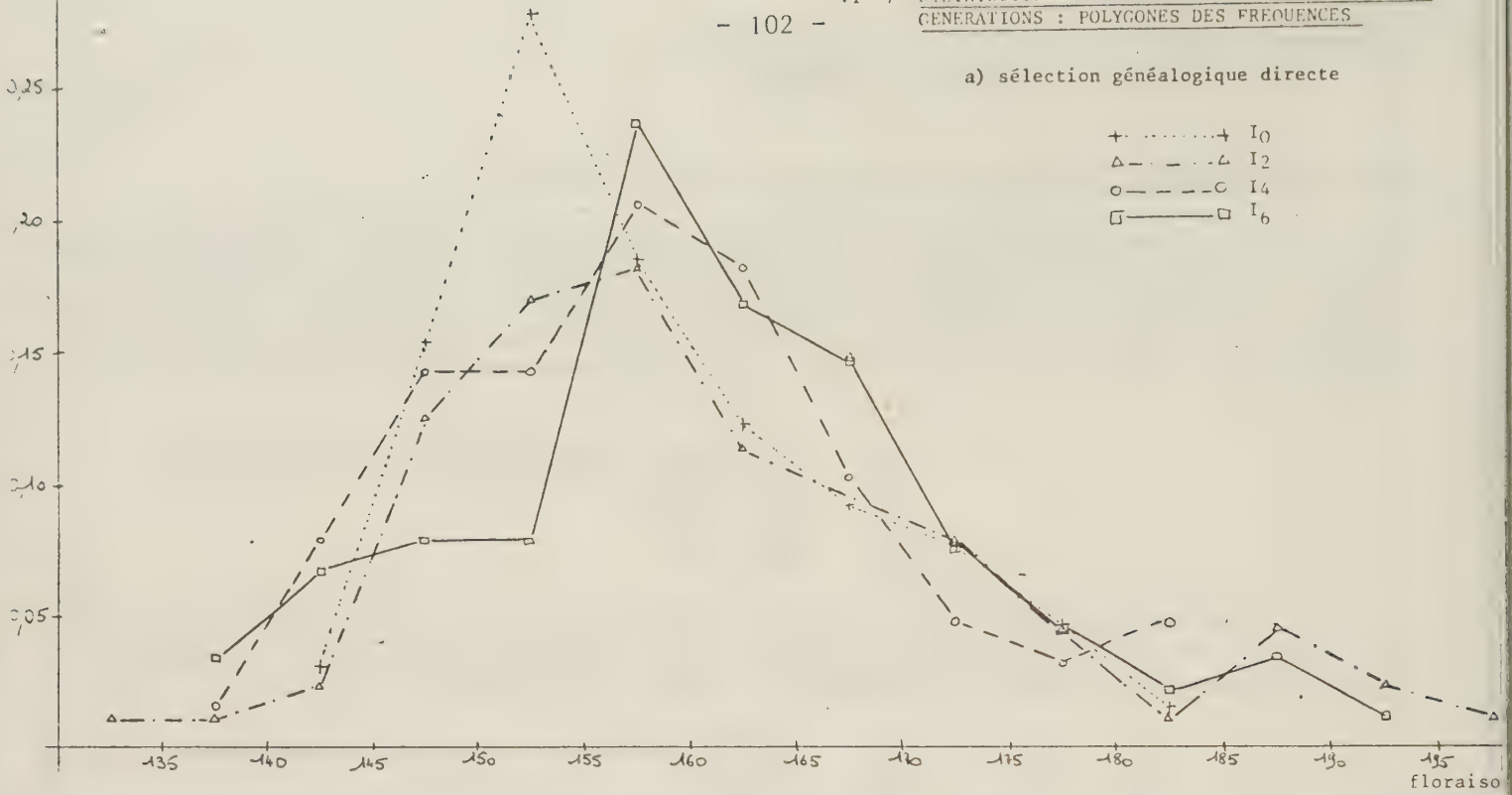
En conclusion, le comportement des lignées à travers la sélection inconsciente réalisée pour la hauteur apparaît conforme aux résultats attendus pour un caractère à héritabilité moyenne et à effet de dominance élevé :

- mise en évidence et fixation de lignées transgressives (effet d'additivité important)
- révélation lors des hybridations d'un effet d'hétérosis très marqué.

En l'absence de sélection dirigée pour la hauteur, la comparaison des voies de diversification n'est pas fondée. Il est cependant possible de noter, pour ce caractère, que l'hétérosis rencontré dans la deuxième sélection convergente est d'intensité comparable à celui des autres sélections convergentes. Ceci tend à prouver que la consanguinité entre lignées dans une même origine commerciale (base de la deuxième sélection convergente : paragraphe V-1-3) n'est pas moins importante que celle existant entre les lignées des différentes origines commerciales (fondement de la première et de la troisième sélections convergentes).

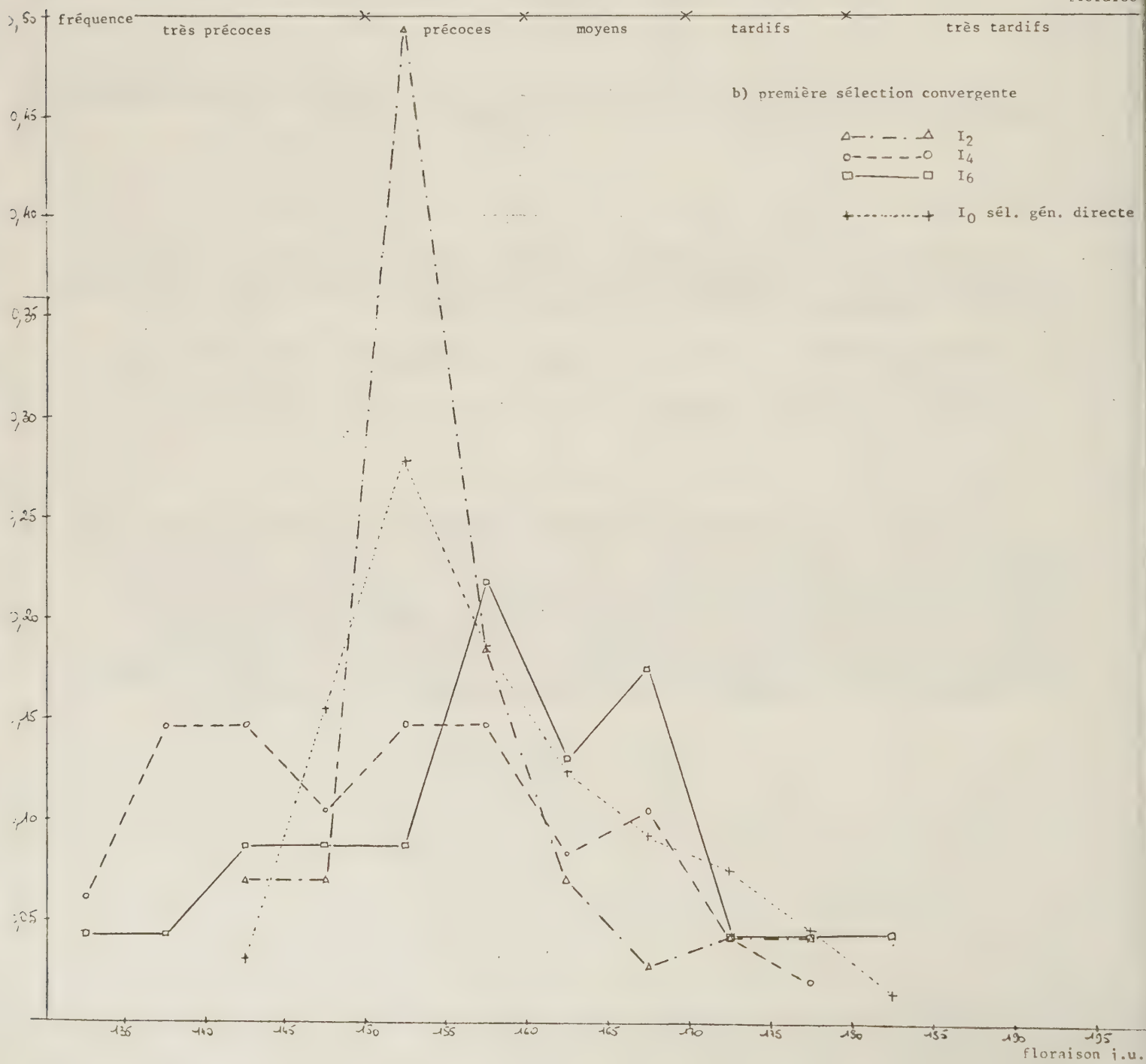
GENERATIONS : POLYGONES DES FREQUENCES

a) sélection généalogique directe



très précoces — précoces — moyens — tardifs — très tardifs

b) première sélection convergente



VI-3.2 la floraison

L'analyse qui vient d'être effectuée pour la hauteur va servir de témoin pour le jugement de l'évolution de la floraison au travers des différentes voies de diversification. Ce dernier caractère, qui présente une héritabilité plus élevée que la hauteur, a fait l'objet d'une sélection dirigée visant à retenir les phénotypes fleurissant dans la période retenue (1er novembre au 15 février) et présentant le cycle le plus court. Toutefois, la sélection pour les autres caractères (coloris en particulier), impliquant de maintenir une variabilité importante, la majorité des origines, lots jugés dans l'essai de comportement, a été conservée et dans chacune d'elle, ce sont les génotypes présentant la plus faible valeur de la floraison, c'est-à-dire les plus précoces, qui ont été retenus.

L'étude qui suit est basée sur les lignées ayant fleuri en totalité dans la période fixée, c'est-à-dire de type I (cf. paragraphe V.3). Les floraisons moyennes des lignées ($\bar{x}$) qui sont comparées sont les valeurs brutes des tableaux A-VI-1, A-VI-2, A-VI-3 et A-VI-4 corrigées par l'écart de la moyenne de la campagne concernée à la moyenne de la campagne 69 I (tableau V-2). Il faut rappeler que ces écarts ont été jugés :

. surestimés pour les campagnes 72 I et 73 II
. sous-estimés pour les campagnes 74 I, 74 II, 75 I et 76 I.

VI.3.21 comparaison des représentations graphiques

Les différentes représentations graphiques :

VI-7-a pour la sélection généalogique directe
VI-7-b pour la première sélection convergente
VI-8-a pour la deuxième sélection convergente
VI-8-b pour la troisième sélection convergente

présentent, en référence, la distribution de la collection d'origine (I_0 de la sélection généalogique directe).

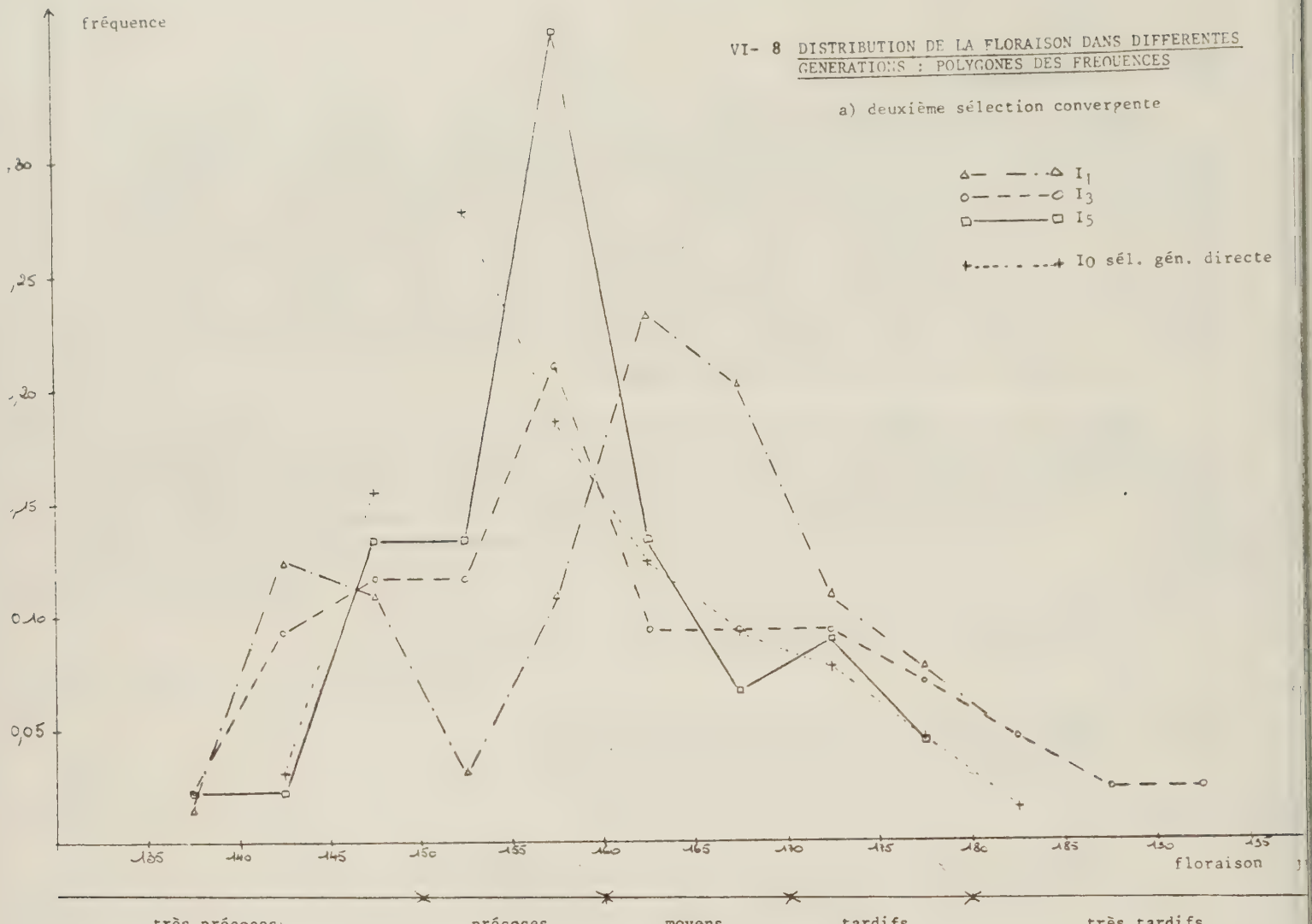
Pour la sélection généalogique directe, le graphique VI-7-a laisse apparaître, comme pour la hauteur, une forte analogie entre les dispersions observées à chaque génération. La I_6 présente cependant un décalage vers des floraisons plus tardives. Ceci s'exprime dans les moyennes des floraisons calculées pour chacune des générations (en jours unités de 8 h 15 mn) :

en I_0	$\bar{x} = 158,6$
en I_2	$\bar{x} = 158,1$
en I_4	$\bar{x} = 156,1^*$
en I_6	$\bar{x} = 160,4^*$

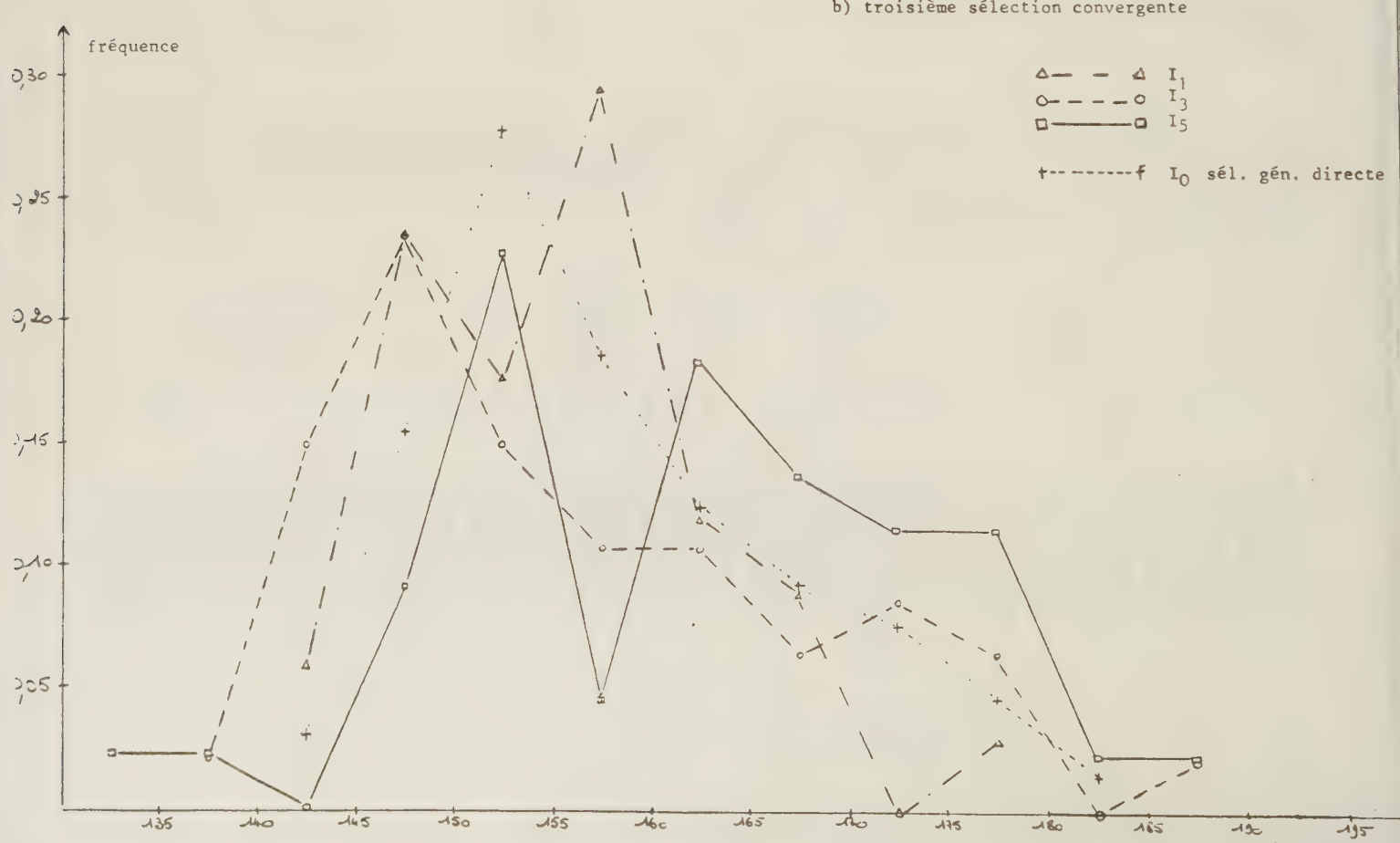
* valeur de la floraison vraisemblablement légèrement sous-estimée en raison de la surestimation du terme correctif pour les campagnes 72 I et 73 II. Dans les résultats qui suivent, le signe ° correspond au cas où la valeur de la floraison se trouve légèrement surestimée en raison de la sous-estimation du terme correctif pour les campagnes 74 I, 74 II, 75 I et 76 I.

VI- 8 DISTRIBUTION DE LA FLORAISON DANS DIFFERENTES GENERATIONS : POLYGONES DES FREQUENCES

a) deuxième sélection convergente



b) troisième sélection convergente



Pour les sélections convergentes, les représentations graphiques font apparaître un effet d'hétérosis beaucoup moins marqué que pour la hauteur dans les premières générations suivant le croisement et s'estompant plus rapidement dans les générations ultérieures ainsi qu'en attestent les moyennes de floraison (VI- 9).

VI- 9. MOYENNES DES FLORAISONS POUR CHACUNE DES GENERATIONS ET DES SELECTIONS CONVERGENTES

1ère sél. convergente		2ème sél. convergente		3ème sél. convergente	
génération	$\bar{x}$	génération	$\bar{x}$	génération	$\bar{x}$
I_0	149,2	I_0	152,5	I_0	159,0
I_2	153,9	I_1	157,5 *	I_1	154,6 *
I_4	145,9 *	I_3	160,3 *	I_3	154,2 *
I_6	156,1 °	I_5	157,2 °	I_5	161,2 °
sélection généalogique directe I_6 $\bar{x}$ = 160,4 *					

Alors que pour les première et deuxième sélections convergentes, l'hétérosis le plus important apparaît en I_0 (non figurée sur les graphiques), ce n'est qu'en I_1, que cet effet est maximum en ce qui concerne la troisième sélection convergente ; il faut en effet deux générations pour que s'établisse la panmixie. L'évolution de la moyenne diffère donc d'une voie de diversification à l'autre mais le niveau atteint dans la génération la plus avancée (I_5 ou I_6) est, compte tenu des écarts d'estimations, inférieur à celui calculé en I_6 de la sélection généalogique directe.

Toutefois, si l'on compare la moyenne de la collection de départ (I_0 de la sélection généalogique directe) et les valeurs moyennes de la floraison en I_5 ou I_6 quelle que soit la voie de diversification, il apparaît qu'elles ne diffèrent pas sensiblement malgré le niveau élevé de l'héritabilité et de la pression de sélection pour ce caractère. C'est ce phénomène que nous allons tenter d'expliquer maintenant.

b) le groupement de la floraison

L'étude du groupement de la floraison, c'est-à-dire de la valeur de l'écart-type de la floraison calculé pour chacune des lignées, nous fournit d'autres indications sur le caractère floraison.

Si on observe le graphique de la distribution du groupement de la floraison dans différentes générations de la sélection généalogique directe (VI- 10-a), on s'aperçoit qu'avec le niveau croissant de génération :

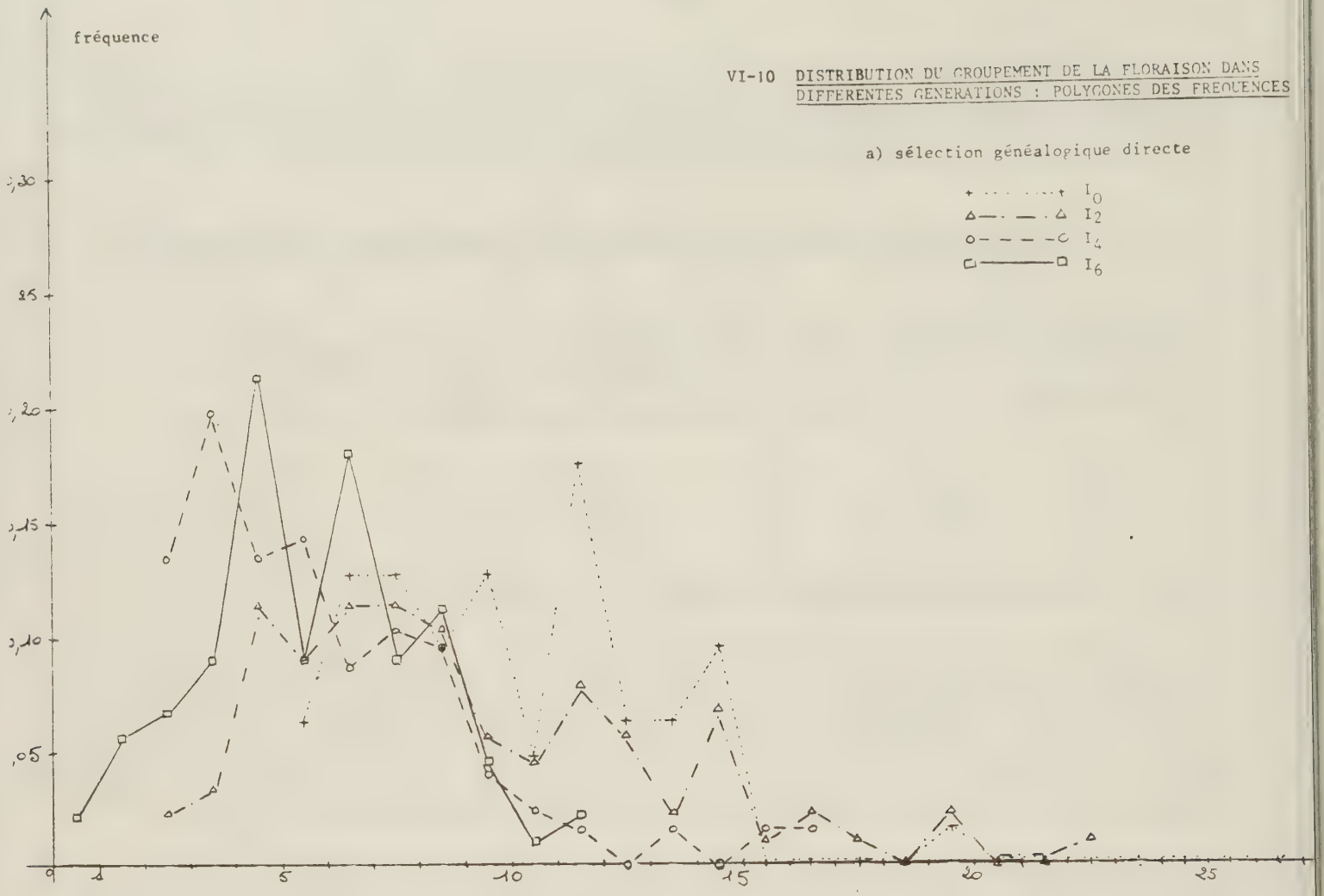
- la dispersion devient de moins en moins importante puisqu'elle couvre :

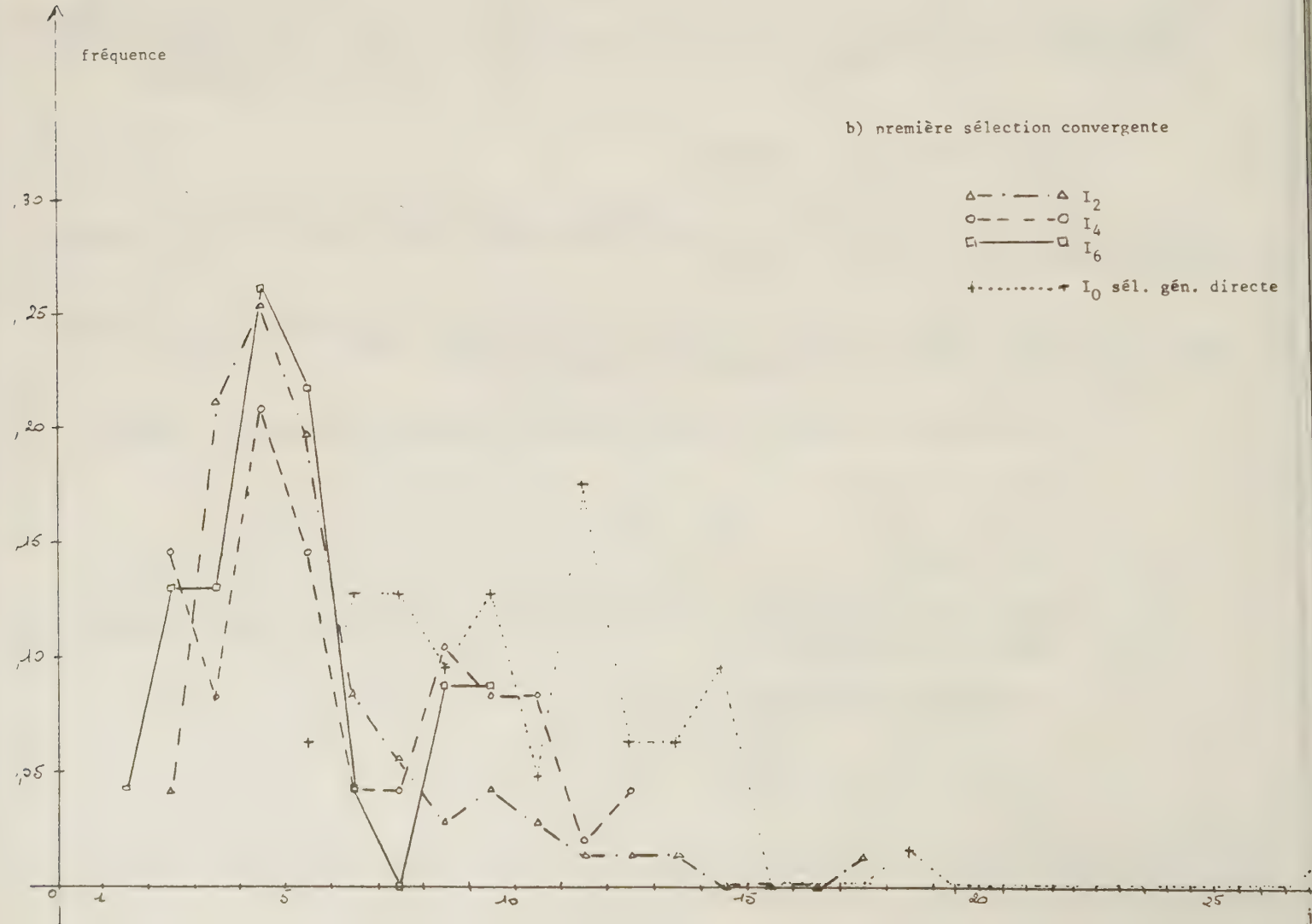
  30 j.u. en I_0
  21 j.u. en I_2
  15 j.u. en I_4
  12 j.u. en I_6

- simultanément apparaissent des valeurs de plus en plus basses du groupement de la floraison :

  le minimum atteint en I_0 est 5,3 j.u.
  en I_2 2,1 j.u.
  en I_4 2,0 j.u.
  en I_6 0,1 j.u.

VI-10 DISTRIBUTION DU GROUPEMENT DE LA FLORAISON DANS DIFFERENTES GENERATIONS : POLYGONES DES FREQUENCES





- les valeurs faibles de groupement de la floraison deviennent de plus en plus fréquentes :

en I_0	18,5 %	des	lots	fleurissent	en	moins	de	7 j.u.
en I_2	37,5 %	"	"	"	"	"	"	"
en I_4	69,8 %	"	"	"	"	"	"	"
en I_6	71,9 %	"	"	"	"	"	"	"

Ces résultats reflètent l'effet positif de la sélection phénotypique et généalogique pour ce caractère.

Si on considère maintenant le graphique tracé pour la première sélection convergente (VI-10-b), nous retrouvons les deux premières caractéristiques évoquées :

- diminution de la dispersion : 33 j.u. en I_0 (non représentée), 16 j.u. en I_2, 11 j.u. en I_4 et 9 j.u. en I_6

- apparition de valeurs de plus en plus basses : groupement de la floraison minimum : 12,3 j.u. en I_0, 2,5 j.u. en I_2, 2,0 j.u. en I_4 et 1,8 j.u. en I_6

En ce qui concerne le taux de lignées fleurissant en moins de 7j., celui-ci est élevé dès la I_2 (81,7 %) et se retrouve à un niveau comparable en I_6 (82,6 %) après un fléchissement en I_4 (62,5 %). Ceci nous amène à supposer que la fixation des lignées pour ce caractère est en apparence plus rapide pour la première sélection convergente que pour la sélection généalogique directe ce que nous expliquerons par la suite.

Pour les deux autres sélections convergentes (VI-11-a et -b), les polygones des fréquences sont nettement différents de ceux qui viennent d'être décrits puisque :

- la dispersion demeure élevée jusqu'en I_5

- le taux de lignées fleurissant en moins de 7 jours demeure inférieur à ceux calculés précédemment :

	2ème sélection convergente	3ème sélection convergente
en I_1	15,4 %	17,6 %
en I_3	51,2 %	59,6 %
en I_5	40,0 %	45,4 %

Ces résultats laissent penser qu'il persiste un niveau d'hétérozygotie beaucoup plus élevé pour ce caractère que dans la première sélection convergente à niveau de génération comparable car le décalage des générations étudiées pour les 2ème et 3ème sélections convergentes ne suffit pas à expliquer le phénomène observé.

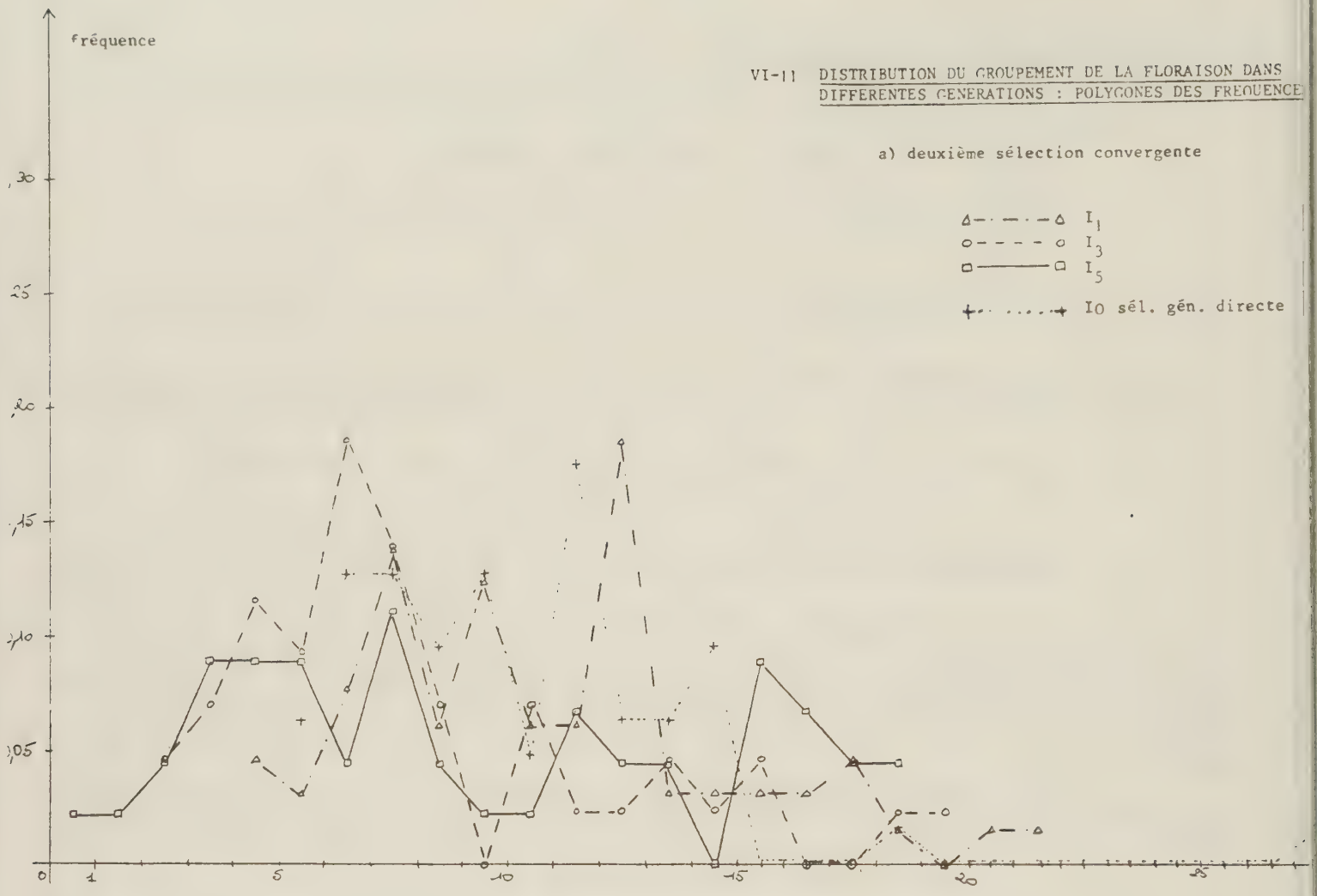
Par contre, en ce qui concerne l'évolution vers des valeurs de plus en plus basses du groupement de la floraison, celle-ci se produit avec une intensité comparable puisque le minimum observé est :

	2ème sélection convergente	3ème sélection convergente
en I_1	4,0 j.u.	7,0 j.u.
en I_3	2,1 j.u.	2,9 j.u.
en I_5	0,8 j.u.	0,7 j.u.

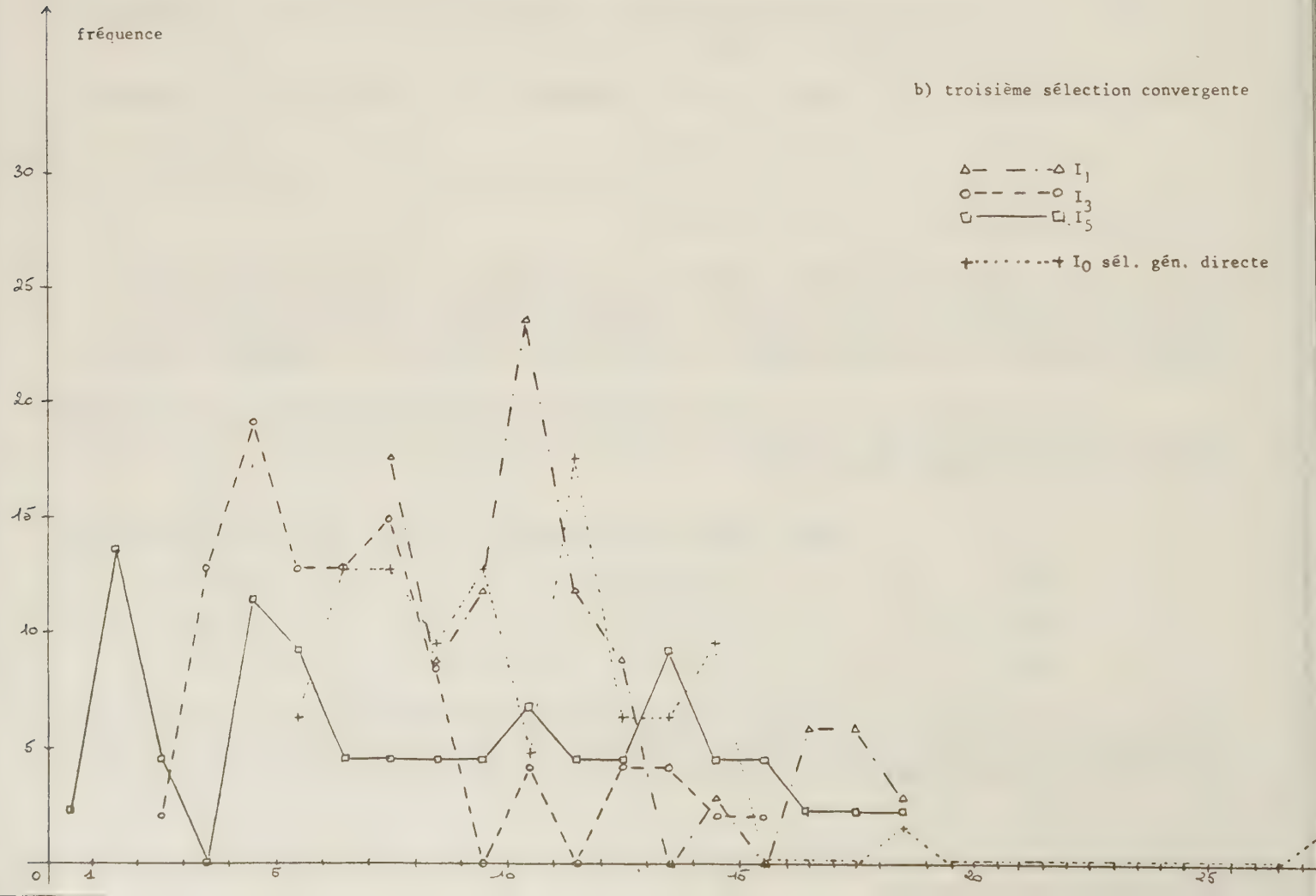
ce qui montre que quelle que soit la voie de diversification originelle, la sélection généalogique a été efficace en ce qui concerne la floraison puisque l'écart-type de ce caractère va en décroissant avec le niveau croissant des générations.

VI-11 DISTRIBUTION DU GROUPEMENT DE LA FLORAISON DANS DIFFERENTES GENERATIONS : POLYGONES DES FREQUENCES

a) deuxième sélection convergente



b) troisième sélection convergente



L'étude du groupement de la floraison révèle donc un comportement très différent du caractère floraison selon la voie de diversification puisque :

- la première sélection convergente présente aux différentes générations analysées des disjonctions réduites tout se passe comme si les génotypes retenus montraient soit une majorité de gènes dominants masquant l'hétérogénéité soit un degré d'homozygotie élevé dès les premières générations peu compatible avec l'origine hybride de cette voie.

- les deuxième et troisième sélections convergentes, à l'opposé manifestent une persistance de l'hétérozygotie qui pourrait être liée à une sélection phénotypique en faveur des génotypes les plus hétérozygotes.

c) les groupes de précocité

Pour préciser l'évolution de la floraison au cours des générations selon la voie de diversification originelle, nous avons considéré la répartition par groupe de précocité tel que nous les avons précédemment définis (cf. paragraphe V-3-1). Celle-ci est présentée dans le tableau VI- 12.

VI- 12. REPARTITION DES LIGNEES ENTRE LES DIFFERENTS GROUPES DE PRECOCITE AU COURS DE CERTAINES GENERATIONS DE LA SELECTION GENEALOGIQUE SUIVANT :

1°) LA SELECTION GENEALOGIQUE DIRECTE

groupes de précocité	générations			
	I_0	I_2	I_4	I_6
très précoces $\bar{x} < 150$ j.u.	18,5	17,0	23,8 °	18,0 °
précoces $150 \leq \bar{x} < 160$	46,2	35,2	34,9 °	31,5 °
moyens $160 \leq \bar{x} < 170$	21,5	26,1	28,6 *	31,5
tardifs $170 \leq \bar{x} < 180$	12,3	12,6	7,9 *	12,3 *
très tardifs $\bar{x} \geq 180$ j.	1,5	9,1	4,8 *	6,7 *
TOTAL	100 %	100 %	100 %	100 %

2°) LA PREMIERE SELECTION CONVERGENTE

groupes de précocité	générations			
	I_0	I_2	I_4	I_6
très précoces $\bar{x} < 150$ j.u.	25,0	14,1	45,8 °	21,7 *
précoces $150 \leq \bar{x} < 160$	50,0	67,6	29,2 *	26,1 *
moyens $160 \leq \bar{x} < 170$	8,4	9,9	18,8 *	39,1 °
tardifs $170 \leq \bar{x} < 180$	8,3	8,4	6,2 *	4,4 *
très tardifs $\bar{x} \geq 180$ j.u.	8,3	-	-	8,7 °

3°) LA DEUXIEME SELECTION CONVERGENTE

groupes de précocité	générations			
	I_0	I_1	I_3	I_5
très précoces $\bar{x} < 150$ j.u.	20,0	24,6 °	23,2 °	17,8 *
précoces $150 \leq \bar{x} < 160$	64,0	13,8 *	32,6 °	48,9 °
moyens $160 \leq \bar{x} < 170$	12,0	43,1 °	18,6 *	20,0 °
tardifs $170 \leq \bar{x} < 180$	4,0	18,5 *	16,3 *	13,3 °
très tardifs ≥ 180 j.u.	-	-	9,3 *	-

4°) LA TROISIEME SELECTION CONVERGENTE

groupes de précocité	générations			
	I_0	I_1	I_3	I_5
très précoces $\bar{x} < 150$ j.u.	-	29,4 °	40,4 °	13,6 *
précoces $150 \leq \bar{x} < 160$	75,0	47,1 °	25,5 *	27,3 *
moyens $160 \leq \bar{x} < 170$	25,0	20,6 *	17,1 *	31,8 °
tardifs $170 \leq \bar{x} < 180$	-	2,9 *	14,9 *	22,8 °
très tardifs ≥ 180 j.u.	-	-	2,1 *	4,5 °

* catégorie sous-estimée ° catégorie surestimée

Quelle que soit la voie de diversification originelle, c'est la catégorie dite précoce qui est la plus fréquemment dénombrée en I_0 :

46,2 % pour la sélection généalogique directe
50,0 % pour la première sélection convergente
64,0 % pour la deuxième sélection convergente
75,0 % pour la troisième sélection convergente

Ceci montre qu'elle correspond à des génotypes fortement hétérozygotes. Ainsi, avec le niveau croissant des générations, sa fréquence subit une sensible diminution. Toutefois, du fait qu'il s'agit d'une catégorie phénotypique favorable, donc faisant l'objet d'un choix préférentiel, la sélection pour la précocité s'en est trouvée ainsi considérablement freinée.

En I_5-I_6, les groupes les plus fréquents sont les précoces et les moyens qui, sauf dans le cas de la deuxième sélection convergente, sont pratiquement également représentés, compte tenu des variations d'estimations. La catégorie des floraisons moyennes, à l'inverse des précoces subit une élevation du taux en liaison avec le niveau des générations, preuve du rôle de génotypes homozygotes dans son expression phénotypique.

La catégorie des floraisons très précoces, bien que variable au cours des générations, est de niveau comparable en I_0 et en I_6, elle se compose donc de génotypes hétérozygotes et homozygotes. Quant aux autres catégories plus tardives, elles évoluent dans le même sens que celle des moyens ; ainsi un regroupement des deux premières catégories (précoces) et des trois autres (tardifs) permet de préciser l'évolution globale.

VI- 13. REPARTITION DES LIGNEES ENTRE LES FLORAISONS PRECOCES (< 160 j.u.) ET TARDIVES (≥ 160 j.u.)

mode de diversification	floraison	générations			
		I_0	I_2/I_1	I_4/I_3	I_6/I_5
sél. généalogique directe	précoce	64,7	52,2	58,7 °	49,5 °
	tardive	35,3	47,8	41,3 *	50,5 *
1ère sélection convergente	précoce	75,0	81,7	75,0 °	47,8 *
	tardive	25,0	18,3	25,0 *	52,2 °
2ème sélection convergente	précoce	84,0	38,4 *	55,8 °	66,7 *
	tardive	16,0	61,6 °	44,2 *	33,3 °
3ème sélection convergente	précoce	75,0	76,5 °	65,9 °	40,9 *
	tardive	25,0	23,5 *	34,1 *	59,1 °

Le tableau VI- 13 met en évidence une élévation du taux des floraisons tardives au détriment des floraisons précoces recherchées, ce qui semble montrer que les premières sont davantage liées à des génotypes homozygotes.

En conclusion, il apparaît donc, en ce qui concerne la floraison, que :

1) son analyse et son interprétation sont imprécises, compte tenu de la non répétitivité des conditions du crible selon la campagne d'étude et de la faiblesse des effectifs analysés.
2) pratiquement, tous les phénotypes sont révélés en I_0, l'hybridation n'induisant que peu de transgressions et le taux d'hétérozygotie étant vraisemblablement élevé dans la collection d'origine.

3) la sélection vers la précocité a été fortement freinée du fait, d'une part de sa liaison avec un niveau important d'hétérozygotie et d'autre part, de la recherche de la préservation de la gamme de variabilité et même de son extension.
4) la sélection vers le groupement de la floraison a été efficace, compte tenu de l'élévation du niveau d'homozygotie moyen des lignées.

Ceci explique que malgré l'héritabilité élevée de ce caractère, l'effet sélection ne s'exprime pas aussi significativement que pour la hauteur.

La fréquence relative des gènes de précocité et de tardivité s'exprime en I_1 ou I_2 dans la répartition des groupes de précocité. En effet, alors que pour la 1ère et la 3ème sélection convergente la catégorie la plus fréquente est celle des floraisons précoces, preuve d'un taux élevé de gènes de précocité dans le pool génique de départ, pour la 2ème sélection convergente, ce sont les floraisons moyennes qui sont le plus souvent observées, manifestant un taux de gènes de tardivité plus élevé. Les différences au niveau des voies de diversification s'expriment aussi dans la répartition des gènes dominants et récessifs (différences observées au niveau du groupement de la floraison) à travers les groupes précoces et tardifs. L'analyse des essais diallèles réalisées au chapitre VIII nous permettra, en particulier, de progresser sur ce dernier point.

VII - COMPARAISON DES VOIES DE DIVERSIFICATION AU NIVEAU DES HYBRIDES F1

VII.1 - PRESENTATION DE LA METHODE

A l'issue de la sélection généalogique appliquée à chacune des voies de diversification est intervenue la comparaison des lignées au niveau hybride. C'est au travers d'essais top-cross, compte tenu du nombre important de lignées en jeu, que s'est fait le jugement (au niveau I_6, ont été retenues : 121 lignées en sélection généalogique directe, 23 lignées en première sélection convergente, 41 lignées en deuxième sélection convergente et 35 lignées en troisième sélection convergente, soit 220 au total permettant 24 090 combinaisons).

Des essais top-cross et des essais diallèles ont permis de juger pour les critères retenus (cf. paragraphe IV- 3) plus de 900 combinaisons hybrides différentes. Les essais top-cross ont fait intervenir successivement en tant que testeurs :

- des lignées issues des sélections antérieures du laboratoire,
- des lignées de la sélection généalogique directe converties pour la stérilité-mâle (cf. introduction),
- des lignées issues d'une voie de diversification différente.

Les combinaisons retenues ont ensuite fait l'objet d'une série d'essais comparatifs où des hybrides actuellement commercialisés ont servi de témoins.

Lorsque la connaissance du matériel génétique le permettait, des essais diallèles ont été réalisés pour apporter une analyse plus précise de certains génotypes (tableau VII-1).

Les essais diallèles qui à l'exclusion du numéro VII ne font intervenir que des lignées de même nature avaient pour but premier de permettre une meilleure connaissance des génotypes qui y étaient analysés et par là une comparaison à ce stade ultime des voies de diversification originelles. C'est donc sur les essais diallèles I à VI que se fera cette étude.

VII.2 - ANALYSE DES RESULTATS AU NIVEAU DU PORT

Les notations qualitatives réalisées pour le port dans les croisements diallèles permettent de nouveau l'appréciation du comportement de ce caractère.

Il faut préciser que les six essais diallèles analysés dans ce chapitre ont été prévus complets, c'est-à-dire présentant les croisements et leurs réciproques. Toutefois, des problèmes pratiques (échec de l'hybridation, défaut de levée des semences) nous ont conduit à des essais présentant un seul sens de croisement (diallèles IV et V) et/ou réduits (diallèles I et IV), (VII-2).

VII-1. PROGRAMME DE SELECTION SUR ANTIRRHINUM - PHASE DE COMBINAISON DES LIGNEES SELECTIONNEES

	SELECTION GENEALOGIQUE DIRECTE (lignées A)	1ère SELECTION CONVERGENTE (lignées B)	2ème SELECTION CONVERGENTE (lignées C)	3ème SELECTION CONVERGENTE (lignées D)
JC 73-74	1er JUGEMENT DE LIGNEES A 1) un essai top-cross 22 lignées I_6, 4 testeurs (issus des sélections antérieures du laboratoire) 2) deux essais diallèles (I et II) : 16 lignées I_4 à I_6.	1er JUGEMENT DE LIGNEES B un essai diallèle (III) : 9 lignées I_4 à I_6.		
JC 74-75	2ème JUGEMENT DE LIGNEES A deux essais top-cross : 37 lignées I_6 à I_8 et 12 testeurs (lignées converties mâles-stériles).	2ème JUGEMENT DE LIGNEES B 1) un essai top-cross : 20 lignées I_6 à I_7 et 6 testeurs (lignées A) 2) un essai diallèle (IV) : 10 lignées I_5 à I_7		
		JUGEMENT DE LIGNEES A ET B un essai diallèle (VII) : 5 lignées A et 3 lignées B		
JC 75-76	1er ESSAI COMPARATIF DES MEILLEURES COMBINAISONS (lignées A et B)			
JC 76-77	2ème ESSAI COMPARATIF DES COMBINAISONS DES LIGNEES A ET B		JUGEMENT DES LIGNEES C un essai diallèle (V) : 9 lignées I_6 et I_7	JUGEMENT DES LIGNEES D un essai diallèle (VI) : 7 lignées I_7
JC 77-78	ESSAI COMPARATIF DE COMBINAISONS F_1 FAISANT INTERVENIR DES LIGNEES A, B, C et D			

VII-2. HEREDITE DU PORT DANS LES CROISEMENTS DIALLELES

DIALLELE I

♀ \ ♂	249	259	282	408	416
249	U	U	U	U à P	U à P
259	U	U	U	U	U
282	U	U	U	P	P
408	U à P	U	P	P	P
416	P	P	P	P	P

Abréviations :

U : unicaulis
U à P : intermédiaire à tendance unicaulis
P à U : intermédiaire à tendance pyramidale
P : pyramidal
H : hétérogène

DIALLELE II

♀ \ ♂	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254	U	U à P	P	U	U	U à P	H	U
280	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P
285	P	U à P	P à U	U à P	P à U	U à P	U	U à P
292	U	U	U	U	U	U à P	H	U
298	U	U à P	P à U	U à P	U	U à P	U	U
400	U à P	U	U à P	U à P	U	U	U	U
FA_3	H	U à P	U	H	H	H	H	H
407	U	U	U à P	U	U	U	U	U

DIALLELE III

♀ \ ♂	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH	U	U	U	H	U	U	U	H	P
BI_1	U	U	U	H	U	U	H	H	P
BJ_1	U	H	U	H	U	U	U	P	P
BJ_2	H	H	H	H	H	H	H	H	P
BM	U	H	U	H	U	U	U	P	P
BN_1	U	H	U	H	U	U	U	U	U
BP	U	H	U	H	U	U	U	H	U à P
BS_1	H	H	P	H	P	U	H	H	H
BS_2	P	P	P	P	P	U	P	H	P à U

L'analyse des notations pour le port regroupées dans le tableau VII-3, met en évidence l'existence, dans un certain nombre de croisements, d'une non-réciprocité. On peut relever les cas suivants :

VII-3. CAS DE NON-RECIPROCITE POUR LE PORT NOTES DANS LES CROISEMENTS DIALLELES COMPLETS

Identité lignée 1	Identité lignée 2	Port lignée 1	Port lignée 2	Port F_1 ♀1 x ♂2	Port F_1 ♀2 x ♂1
249	416	U	P	U à P	P
259	416	U	P	U	P
280	292	U à P	U	U à P	U
280	400	U à P	U	U à P	U
280	407	U à P	U	U à P	U
285	292	P à U	U	U à P	U
292	298	U	U	U	U à P
298	400	U	U	U à P	U
298	FA_3	U	H	U	H
400	FA_3	U	H	U	H
FA_3	407	H	U	H	U
BI_1	BJ_1	U	U	U	H
BI_1	BM	U	U	U	H
BI_1	BN_1	U	U	U	H
BP	BS_2	U	P à U	U à P	P
P.241	P.250-1	U	U à P	U à P	P
P.250-2	P.298	U	U	P	U
P.266	P.298	U	U	U	U à P

Les cas énumérés dans le tableau ci-dessus se regroupent en trois catégories selon que

1) les parents sont de phénotypes différents, les F_1 sont alors soit de type intermédiaire, soit du type maternel.

2) les parents sont de même phénotype, c'est-à-dire dans tous les cas cités de port unicaulis, les F_1 peuvent différer : l'une étant identique aux parents, l'autre plus ramifiée ou en disjonction.

3) l'un des parents est en disjonction, l'une des F_1 peut être homogène, dans tous les cas unicaulis, l'autre étant hétérogène.

Ces trois catégories sont les résultantes d'une hérédité maternelle. En effet, si les parents diffèrent (catégories 1 et 3), les F_1 présentent alors soit le phénotype maternel, soit un phénotype voisin :

♀[U] x ♂[P] → [U] ou [U à P]
♀[P] x ♂[U] → [P]

ou ♀[U] x ♂[H] → [U]
♀[H] x ♂[U] → [H]

VII-2 HEREDITE DU PORT DANS LES CROISEMENTS DIALLELES (suite)

DIALLELE IV

	BI_2	BJ_2	BJ_3	BJ_4	BN_2	BR
BI_2	U	U	U	U	U	U
BJ_2	U à P	U à P	U	U	U	U
BJ_3	U	U	U	U	U	U
BJ_4	U	U	U	U	U	U
BN_2	U	U	U	U	U	U
BR	U	U	U	U	U	U

DIALLELE V

	AE	AG	AI	AR_1	AR_2	AV_1	AV_2	BB	BE
AE	U	H	U	U	U	U	U	U	P
AG	U	U	H	U	H	U	U	U	H
AI	U	U	U	U	U	U	U	U	U à P
AR_1	U	U	U	U	U	U	U	U	P
AR_2	U	U	U	U	U	U	U	U	P à U
AV_1	U	U	U	U	U	U	U	U	P à U
AV_2	U	U	U	U	U	U	U	U	P
BB	U	U	U	U	U	U	U	U	P
BE	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P	U à P

DIALLELE VI

♀ \ ♂	P.241	P.250-1	P.250-2	P.266	P.290	P.292	P.298
P.241	U	U à P	U	U	U	U	U
P.250-1	P	U à P	U à P	P à U	U	P	U à P
P.250-2	U	U à P	U	U	U	P	P
P.266	U	P à U	U	U	U	U	U à P
P.290	U	U	U	U	U	U	U
P.292	U	P	P	U	U	U à P	U à P
P.298	U	U à P	U	U	U	U à P	U

Dans le cas où les parents sont identiques (catégorie 2), l'apparition d'une dissymétrie est aussi le fait d'une hérédité maternelle, la disjonction qui s'observe alors en F_1 étant liée à des déterminismes différents dans chacun des parents.

En fait, cet effet maternel n'a été observé que dans certains croisements (18 su les 95 croisements jugés avec leur réciproque) ce qui dénote le rôle d'un certain fond génétique pour sa révélation.

En ce qui concerne l'ensemble des résultats, nous retrouvons la coexistence de deux types de déterminisme pour le port unicaulis (M. MITTEAU-1980) :

. l'un dominant qui provoque chez la lignée le présentant la révélation de phéno types identiques dans les croisements à parent constant. En plus, il s'accompa gne souvent de disjonctions en F_1, la dominance ayant masqué une hétérozygotie résiduelle dans la lignée parentale.

. l'autre récessif qui implique l'apparition de phénotypes variés en F_1 conformé ment au phénotype de l'autre lignée parentale.

Ces deux types de déterminisme peuvent intervenir dans la même lignée et c'est l cas le plus fréquent. Cinq des essais diallèles révèlent toutefois l'existence de lignées regroupant :

- un maximum de gènes dominants : 259, 407, BN_1, AG et P.290
- un maximum de gènes récessifs : 282, 254, BH, AE et P.298.

Le diallèle IV ne peut être jugé du fait que tous les types unicaulis jugés y on eu le même comportement.

Sous l'angle pratique, il apparaît préférable de sélectionner des lignées de génotype unicaulis dominant, sans effet maternel, puisqu'elles permettent la créatio d'un maximum de combinaisons hybrides F_1 de phénotype unicaulis. Leur mise en éviden suppose la réalisation de croisements-tests avec des lignées de phénotype ramifié dè les premières générations de la sélection généalogique. Cette méthode n'aurait pu êt appliquée dans notre travail en supposant connu le déterminisme du port. En effet, l'obligation où nous nous sommes trouvés de conserver une forte variabilité pour certains caractères (le coloris, la taille) s'opposait à l'application d'une pressio de sélection trop importante compte tenu de la dimension de la collection variétale d'origine. Par contre, cette méthode pourrait s'intégrer dans un processus de sélect récurrente réciproque visant à améliorer outre le port, l'aptitude à la combinaison.

VII.3 - ANALYSE DES ESSAIS DIALLELES POUR LES VARIABLES FLORAISON ET HAUTEUR

Les six essais diallèles ayant été analysés de façon analogue pour les deux variables, floraison et hauteur, nous nous limiterons à présenter le protocole adopt Les résultats qui suivront seront donnés de façon brute sans commentaire ; leur anal fera l'objet d'un paragraphe ultérieur.

La méthode suivie est celle proposée par B.I. HAYMAN dans ses différentes public tions (1954, 1956, 1957, 1958, 1960), l'analyse étant celle développée dans "the theory and analysis of diallel crosses" (novembre 1954).

VII.3.1 les données

Les données présentées en début d'analyse sont les moyennes calculées sur un effectif de quinze plantes par lot. Chaque essai diallèle a été jugé dans une seule implantation sans répétition. Lorsque l'essai est complet, les données brutes regroupent les moyennes de chacun des croisements et de leurs réciproques.

L'analyse proprement dite est réalisée sur une seule valeur par combinaison de deux lignées :

- soit la moyenne des deux moyennes des croisements dans les deux sens : une des conditions d'application du modèle mathématique étant l'absence de différence entre les croisements réciproques

- soit directement la moyenne calculée du lot lorsque l'essai est incomplet.

Chacune des n lignées est donc représentée dans le tableau d'analyse par :

. sa valeur propre en autofécondation (chiffre souligné)
. ses valeurs en croisement avec les (n - 1) autres lignées

VII.3.2 l'analyse de variance

Une analyse de variance a été réalisée sur les diallèles complets en vue de juger la réciprocité des croisements. Deux causes de variations sont, en fait, calculées :

- un effet croisements réciproques mesuré à partir des deux blocs que constituent les valeurs observées dans un sens et dans l'autre pour chaque croisement

- un effet lignes constitué de la variation mesurée entre lignées prises en tant que parent femelle (autofécondation et croisements).

L'effet lignes lorsqu'il est significatif traduit généralement des différences d'aptitude générale à la combinaison entre les lignées. Il peut donc être non significatif (cas du diallèle I/variable : hauteur où le nombre des lignées est limité : n = 5).

L'effet réciproques doit être non significatif pour permettre l'analyse diallèle. S'il est significatif, ce peut être dû à :

. un effet maternel pour le caractère considéré, les différences dépendant alors du génotype
. une sous-estimation de la variance résiduelle du fait de l'absence de répétitions.

L'effet "réciproque" a été jugé significatif dans le diallèle III/variable : hauteur. Il s'agirait-là d'un cas d'effet maternel puisque cette différence ne réapparaît pas lors de l'analyse pour la variable floraison. En outre, deux lignées présentent nettement ce type d'action : BH et BI_1. Pour toutes deux, qui ont les plus fortes valeurs propres dans cet essai, le sens ♀ x ♂ apparaît nettement favorable dans toutes les combinaisons exception faite de BH x BS_1 - B.I. HAYMAN (1954) prévoit que dans ce cas, l'analyse peut être faite sur la moyenne des croisements réciproques, toutefois, les valeurs calculées des composants génétiques sont alors entachées d'une certaine erreur. Dans tous les cas, il est regrettable que la limitation de la surface expérimentale, d'une part et la faiblesse du nombre de graines, d'autre part ne nous aient pas permis de réaliser des répétitions qui auraient permis de confirmer l'existence d'un tel effet maternel et de mesurer une variance environnementale augmentant la précision de l'essai.

VII-4. ANALYSE DIALLELE I : variable : hauteur

DONNEES BRUTES

♀ \ ♂	249	259	282	408	416
249	103,7	114,8	111,6	122,5	108,6
259	115,3	101,7	111,1	120,0	109,3
282	107,5	106,3	75,4	101,7	96,7
408	127,4	102,1	103,3	101,3	101,4
416	93,5	104,1	106,8	101,1	81,3

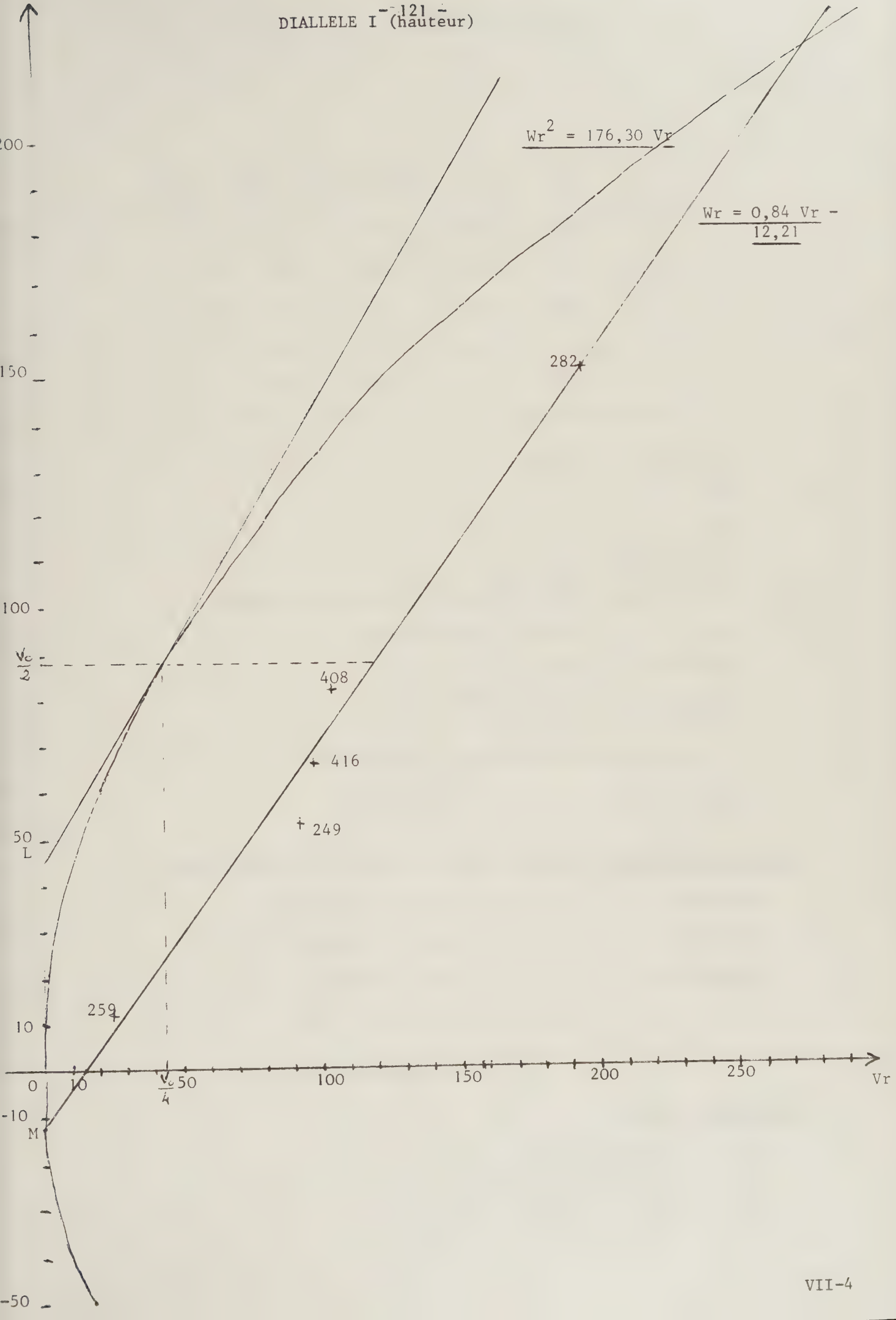
ANALYSE DE VARIANCE

variation	degrés de liberté	somme des carrés	variance	F observé
générale	24	3 074,48	128,10	
lignes	4	653,00	163,25	1,30(N.S.)
réciproques	1	36,71	36,71	0,29(N.S.)
résiduelle	19	2 384,77	125,51	

TABLEAU D'ANALYSE (chaque croisement est représenté par la moyenne des deux croisements réciproques).

♀ \ ♂	249	259	282	408	416
249	103,7	115,0	109,6	124,9	101,0
259	115,0	101,7	108,7	111,0	106,7
282	109,6	108,7	75,4	102,5	101,7
408	124,9	111,0	102,5	101,3	101,2
416	101,0	106,7	101,7	101,2	81,3

DIALLELE I (hauteur)



RESULTATS

Vo = 176,30

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
249	91,08	53,36	- 37,72	144,44	103,7
259	24,49	12,22	- 12,27	36,71	101,7
282	195,32	152,89	- 42,43	348,21	75,4
408	103,96	81,99	- 21,97	185,95	101,3
416	96,70	66,31	- 30,39	163,01	81,3

. équation de la parabole :

$Wr^2 = 176,30\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,84 Vr - 12,21
coefficient de corrélation r = 0,99
test de déviation de la pente de la droite par rapport à 1 :

t_{obs} = 2,05 à 3 degrés de liberté (N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = - 6,16 yr + 746,86
coefficient de corrélation r = 0,73

. intersections de la parabole et de la droite :

$\begin{cases} V_D = 0,76 \\ W_D = -11,57 \end{cases}$ $\qquad$ $\begin{cases} V_R = 284,55 \\ W_R = 223,98 \end{cases}$

CALCUL DES COMPOSANTS (moyenne estimée et intervalle de confiance).

Additivité $\qquad A = 176,30 \pm 18,40$ (S.)

Dominance $\qquad D = 292,14 \pm 52,35$ (S.)

Interaction $\qquad I = -117,10 \pm 45,96$ (S.)

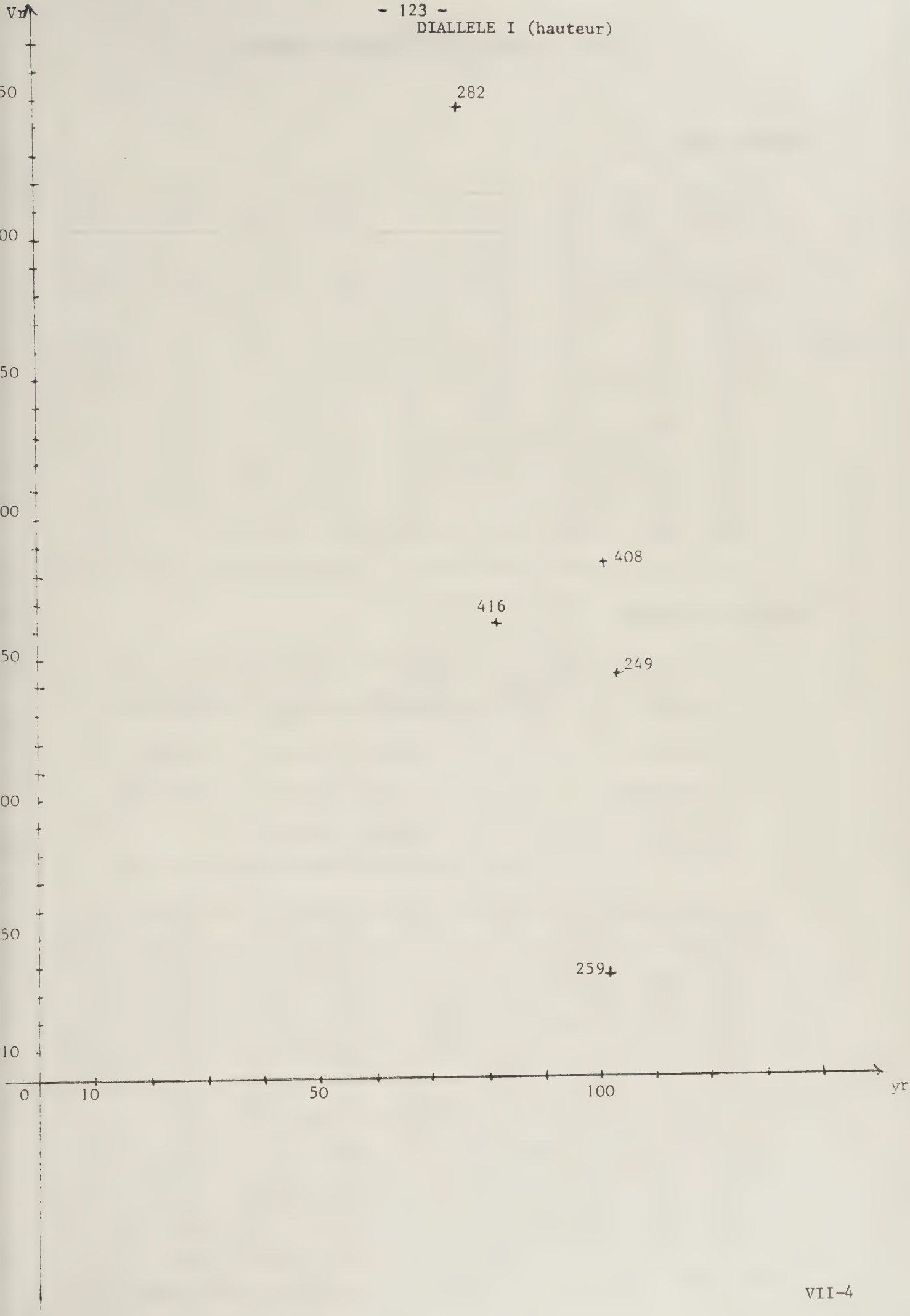
$A - D = -115,84 \pm 44,16$ (S.)

$\frac{D}{A} = 1,66$ (graphiquement : 1,27)

IDENTITE DES LIGNEES

249	249.14.4.25.4.6.	(I_5)
259	259.12.13.15.9.14.8.	(I_6)
282	282.3.5.4.35.8.2.	(I_6)
408	408.10.7.6.4.10.7.	(I_6)
416	416.10.13.3.2.	(I_4)

DIALLELE I (hauteur)



VII- 5. ANALYSE DIALLELE II : variable : hauteur

DONNEES BRUTES

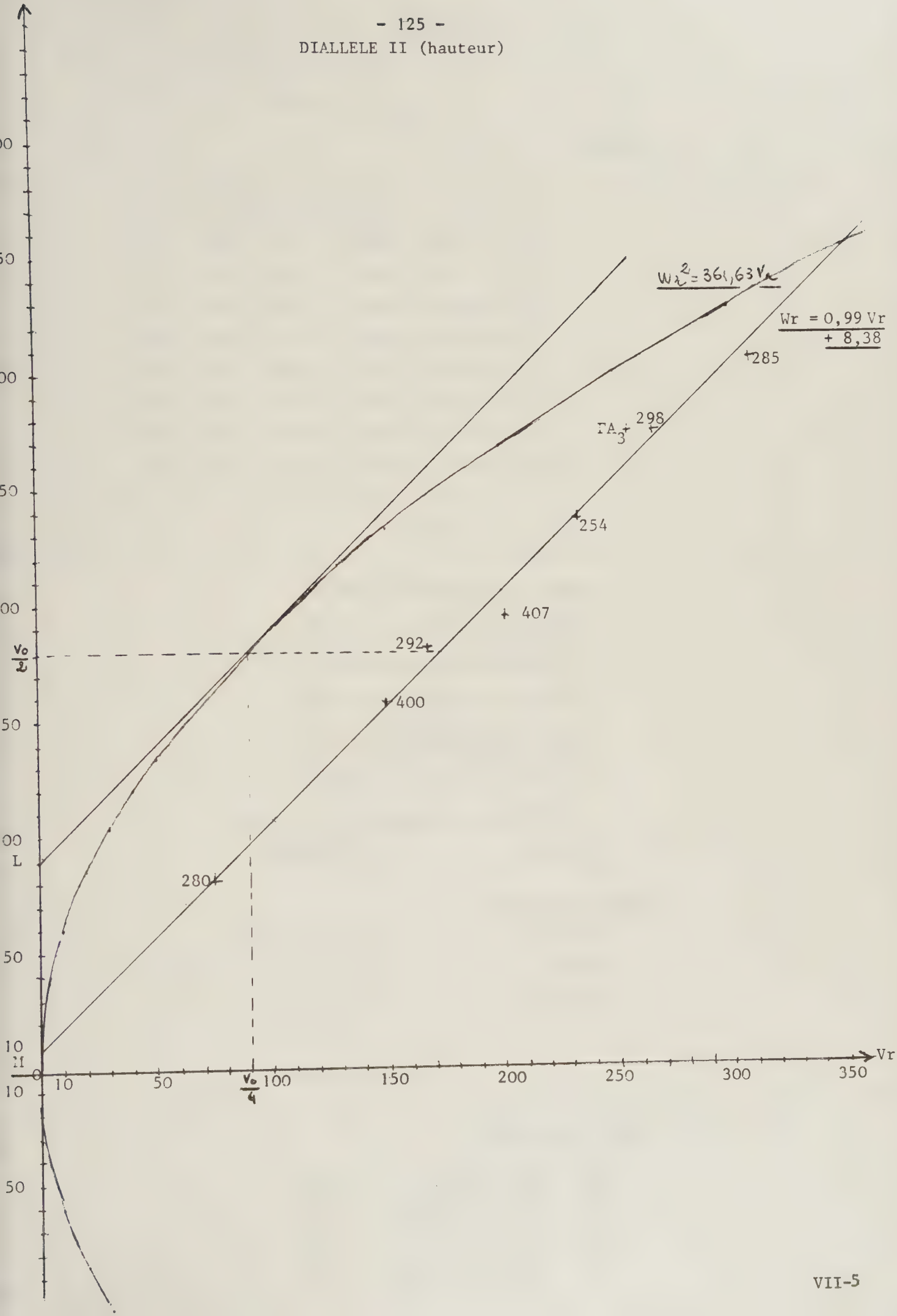
♀ \ ♂	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254	61,4	102,0	84,3	100,3	79,3	94,9	80 3	111,5
280	95,9	85,7	104,3	105,2	106,9	107,6	105.1	112,3
285	71,5	111,5	83,1	111,4	74,4	108,7	77,9	100,4
292	90,2	105,1	104,3	88,5	95,4	118,1	86,5	123,1
298	64,3	81,6	70,2	90,9	50,3	97,5	64 9	85 8
400	90,8	106,5	127,0	121,5	96,0	105,1	103 9	128,3
FA_3	69,3	95,6	79,1	95,7	66,5	101,1	62,7	97,1
407	98,0	113,5	109,2	120,6	83,0	128,5	101 1	96,3

ANALYSE DE VARIANCE

variation	degrés de liberté	somme des carrés	variance	F observé
générale	63	20 092,57	318,93	
lignes	7	7 995,37	1 142,20	5,23(H.S.)
réciproques	1	97,26	97,26	0,44(N.S.)
résiduelle	55	11 999,94	218,18	

♀ \ ♂	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254	61,4	98,9	77,9	95,3	71,8	92,8	74 8	104,8
280	98,9	85,7	107,9	105,1	94,3	107,0	100,4	112,9
285	77,9	107,9	83,1	107,8	72,3	117,9	78,5	104,8
292	95,3	105,1	107,8	88,5	93,1	119,8	91 1	121,9
298	71,8	94,3	72,3	93,1	50,3	96,7	65 7	84,4
400	92,8	107,0	117,9	119,8	96,7	105,1	102,5	128,4
FA_3	74,8	100,4	78,5	91,1	65,7	102,5	62,7	99,1
407	104,8	112,9	104,8	121,9	84,4	128,4	99,1	96,3

DIALLELE II (hauteur)



RESULTATS

Vo = 361,63

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
254	233,88	238,39	+ 4,51	472,27	61,4
280	74,80	80,81	+ 6,01	155,61	85,7
285	308,61	307,03	- 1,58	615,64	83,1
292	167,97	182,18	+ 14,21	350,15	88,5
298	267,32	276,01	+ 8,69	543,33	50,3
400	149,57	157,69	+ 8,12	307,26	105,1
FA_3	256,02	276,11	+ 20,09	532,13	62,7
407	201,52	194,53	- 6,94	396,10	96,3

. équation de la parabole :

$Wr^2 = 361,63\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,99 Vr + 8,38
coefficient de corrélation r = 0,99
test de déviation de la droite par rapport à 1 :

t_{obs} = 0,02 à 6 degrés de liberté(N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = - 4,45 yr + 774,12
coefficient de corrélation r = 0,57
test de conformité (Hypothèse r = 0)

t_{obs} = 1,70 à 6 degrés de liberté(N.S.)

. intersections de la parabole et de la droite

$\begin{cases} V_D = 0,20 \\ W_D = 8,50 \end{cases}$ $\qquad$ $\begin{cases} V_R = 344,84 \\ W_R = 353,13 \end{cases}$

CALCUL DES COMPOSANTS

Additivité $\qquad A = 361,63 \pm 12,45$ (S.)

Dominance $\qquad D = 335,07 \pm 29,50$ (S.)

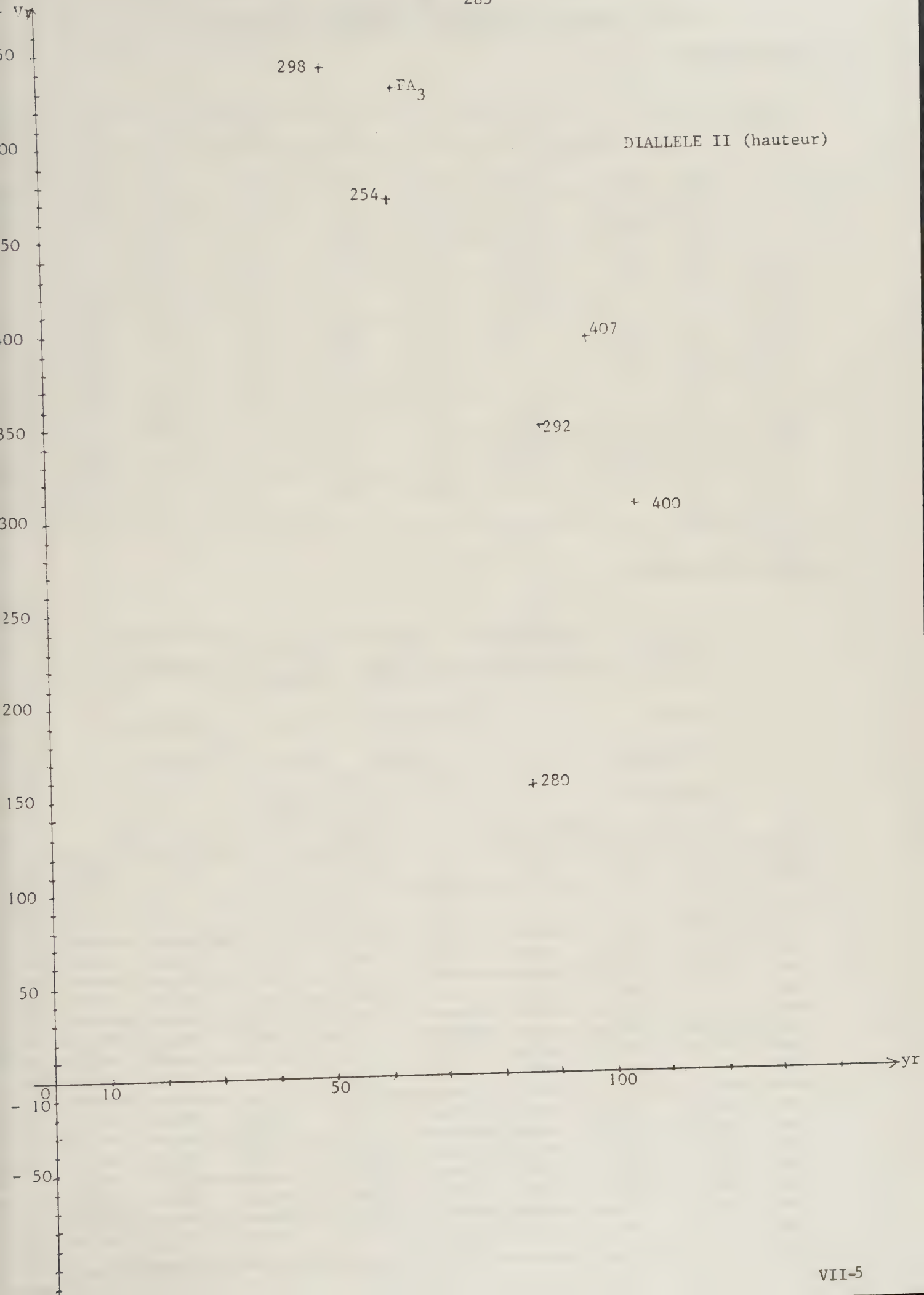
Interaction $\qquad I = - 133,14 \pm 29,40$ (S.)

$A - D = 26,56 \pm 24,56$ (S.)

$\frac{D}{A} = 0,93$ (graphiquement : 0,91)

IDENTITE DES LIGNEES

254	254.4.10.1.1.	(I_4)
280	280.8.14.12.10.6.	(I_5)
285	285.2.5.28.2.2.	(I_5)
292	292.2.15.5.5.13.12.	(I_6)
298	298.4.10.13.4.11.13.	(I_6)
400	400.3.1.4.3.	(I_4)
FA_3	FA3.27.12.5.7.6.2.	(I_7)
407	407.1.6.17.8.15.1.5.	(I_7)


285
298
FA3
DIALLELE II (hauteur)
254
407
292
400
280
yr
0
10
50
100
- 10
- 50

VII-6. ANALYSE DIALLELE III : variable : hauteur

DONNEES BRUTES

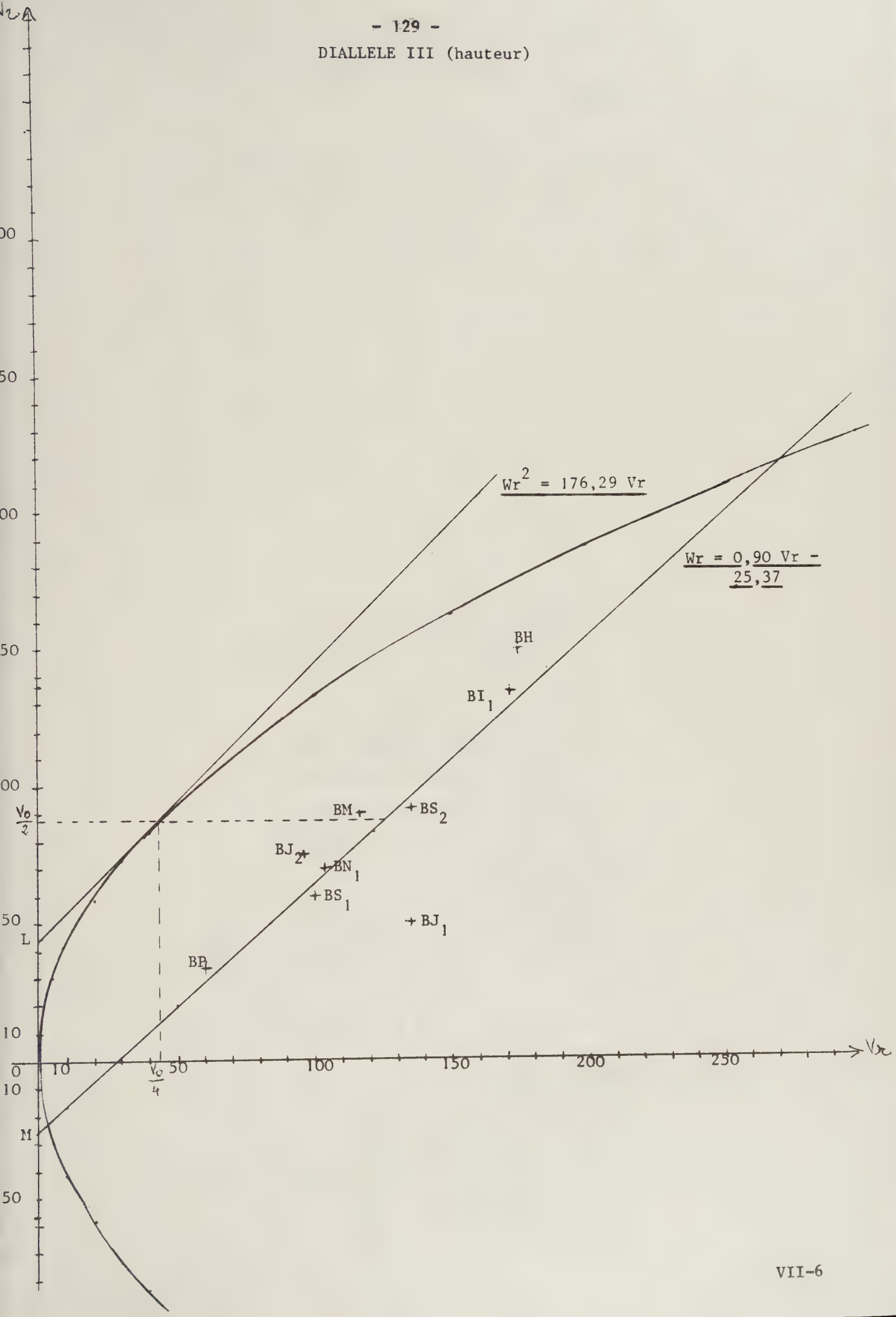
♀ \ ♂	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH	96,5	123,5	112,6	102,1	101,3	116,7	96,5	84,8	77,6
BI_1	112,0	112,7	95,5	110,9	122,1	113,0	108,2	87,5	99,4
BJ_1	98,0	78,1	85,3	81,4	105,2	80,4	88,7	81,0	80,5
BJ_2	82,7	81,4	88,0	75,5	84,4	96,8	100,2	96,0	73,7
BM	86,5	102,1	111,8	80,4	89,0	95,9	85,7	78,5	94,3
BN_1	104,9	107,9	72,7	96,7	89,9	95,1	97,5	93,0	96,5
BP	84,9	73,0	85,1	100,1	109,1	96,9	75,5	90,0	80,5
BS_1	86,1	80,7	77,9	70,7	81,2	92,0	89,3	78,0	56,9
BS_2	71,4	79,7	72,3	70,5	84,0	93,8	85,5	58,3	71,4

ANALYSE DE VARIANCE

variation	degrés de liberté	somme des carrés	variance	F observé
générale	80	15 571,76	194,65	
lignes	8	6 904,29	863,04	7,78 (H.S.)
réciproques	1	791,48	791,48	7,13 (H.S.)
résiduelle	71	7 875,99	110,93	

♀ \ ♂	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH	96,5	117,7	105,3	92,4	93,9	110,8	90,7	85,4	74,5
BI_1	117,7	112,7	86,8	96,1	112,1	110,4	90,6	84,1	89,6
BJ_1	105,3	86,8	85,3	84,7	108,5	76,6	86,9	79,4	76,4
BJ_2	92,4	96,1	84,7	75,5	82,4	96,8	100,1	83,3	72,1
BM	93,9	112,1	108,5	82,4	89,0	92,9	97,4	79,9	89,1
BN_1	110,8	110,4	76,6	96,8	92,9	95,1	97,2	92,5	95,2
BP	90,7	90,6	86,9	100,1	97,4	97,2	75,5	89,6	83,0
BS_1	85,4	84,1	79,4	83,3	79,9	92,5	89,6	78,0	57,6
BS_2	74,5	89,6	76,4	72,1	89,1	95,2	83,0	57,6	71,4

DIALLELE III (hauteur)



RESULTATS

Vo = 176,29

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
BH	174,45	149,61	- 24,84	324,06	96,5
BI_1	170,99	135,47	- 35,52	306,46	112,7
BJ_1	134,79	49,35	- 85,44	184,14	85,3
BJ_2	96,75	75,85	- 20,90	172,60	75,5
BM	116,62	89,74	- 26,88	206,36	89,0
BN_1	103,35	69,09	- 34,26	172,44	95,1
BP	59,80	33,04	- 26,76	92,84	75,5
BS_1	100,09	60,27	- 39,82	160,36	78,0
BS_2	135,33	91,14	- 44,19	226,47	71,4

. équation de la parabole :

$Wr^2 = 176,29\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,90 Vr - 25,37
coefficient de corrélation r = 0,86
test de déviation de la droite par rapport à 1 :

t_{obs} = 0,25 à 7 degrés de liberté(N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = 3,72 yr - 116,67
coefficient de corrélation r = 0,68
test de conformité (Hypothèse r = 0)

t_{obs} = 2,46 à 7 degrés de liberté(S.)

. intersections de la parabole et de la droite :

$\begin{cases} V_D = 3,56 \\ W_D = -25,06 \end{cases}$ $\begin{cases} V_R = 270,46 \\ W_R = 218,84 \end{cases}$

CACUL DES COMPOSANTS

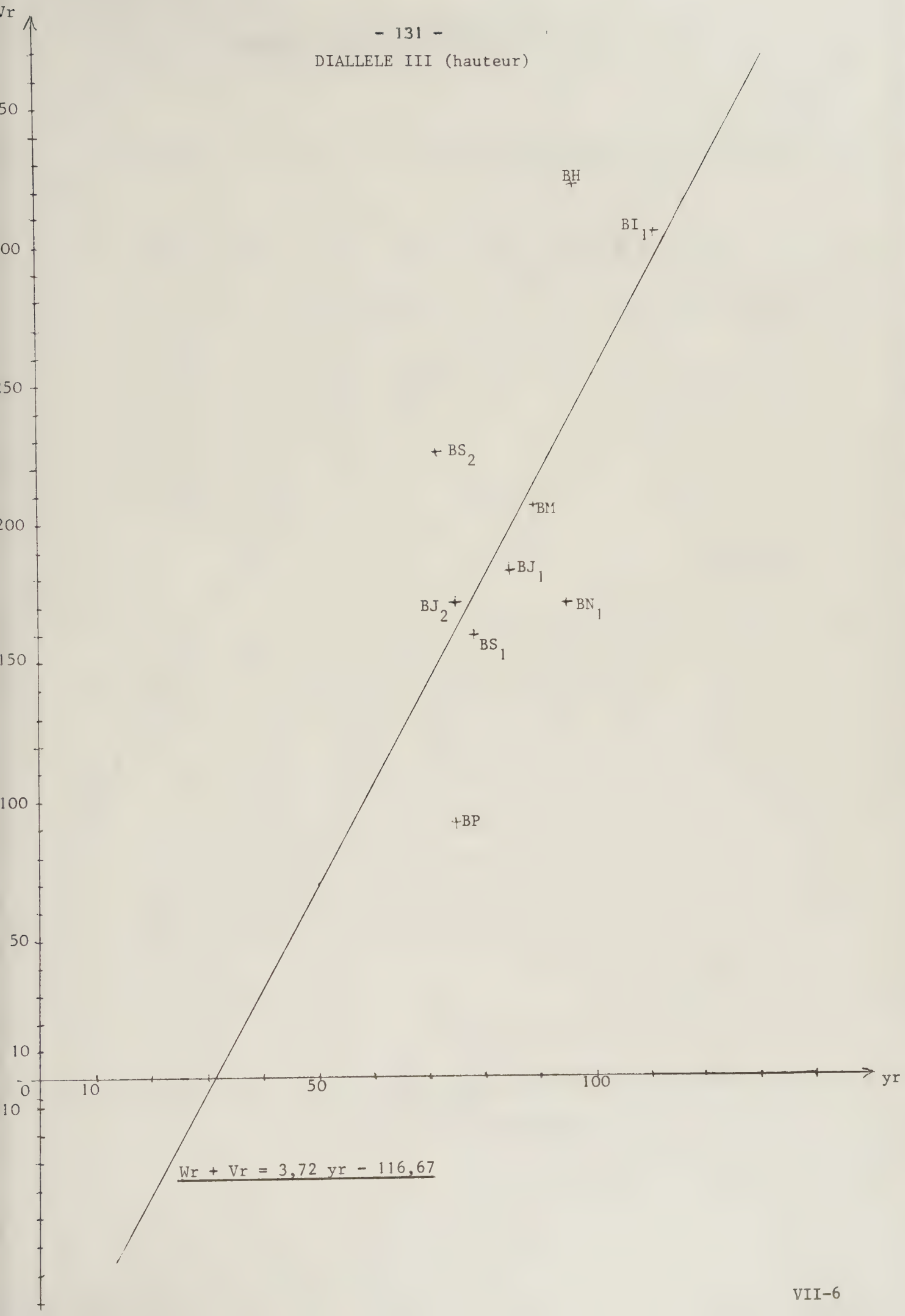
Additivité	A = 176,29 ± 28,41	(S.)
Dominance	D = 312,69 ± 64,41	(S.)
Interaction	I = 17,66 ± 66,29	(N.S.)
	A - D = - 136,40 ± 53,28	(S.)

$\frac{D}{A}$ = 1,77 (graphiquement : 1,55)

IDENTITE DES LIGNEES

BH	BH.4.10.1.4.	(I_4)
BI_1	BI.5.12.9.10.13.11.	(I_6)
BJ_1	BJ.6.10.10.13.2.	(I_5)
BJ_2	BJ.6.88.15.13.8.	(I_5)
BM	BM.30.13.8.3.2.	(I_5)
BN_1	BN.8.27.15.6.9.	(I_5)
BP	BP.1.8.12.1.6.6.	(I_6)
BS_1	BS.20.38.15.11.	(I_4)
BS_2	BS.9.53.10.5.	(I_4)

DIALLELE III (hauteur)



VII- 7. ANALYSE DIALLELE IV : variable : hauteur

DONNEES BRUTES (le diallèle a été réalisé sans croisements réciproques)

♀ / ♂	BI_2	BJ_2	BJ_3	BJ_4	BN_2	BR
BI_2	90,2	81,2	88,1	113,0	88,9	103,0
BJ_2	77,5	72,5	91,5	84,5	88,1	
BJ_3	107,1	112,5	92,6	103,8		
BJ_4	94,2	101,1	112,7			
BN_2	76,8	112,0				
BR	104,8					

RESULTATS

Vo = 168,18

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
BI_2	136,21	67,59	- 68,62	203,80	90,2
BJ_2	48,61	- 3,00	- 51,61	45,61	77,5
BJ_3	216,49	142,11	- 74,38	358,60	107,1
BJ_4	97,89	85,50	- 12,39	183,39	94,2
BN_2	155,51	126,27	- 29,24	281,78	76.8
BR	78,83	27,44	- 51,39	106,27	104,8

. équation de la parabole :

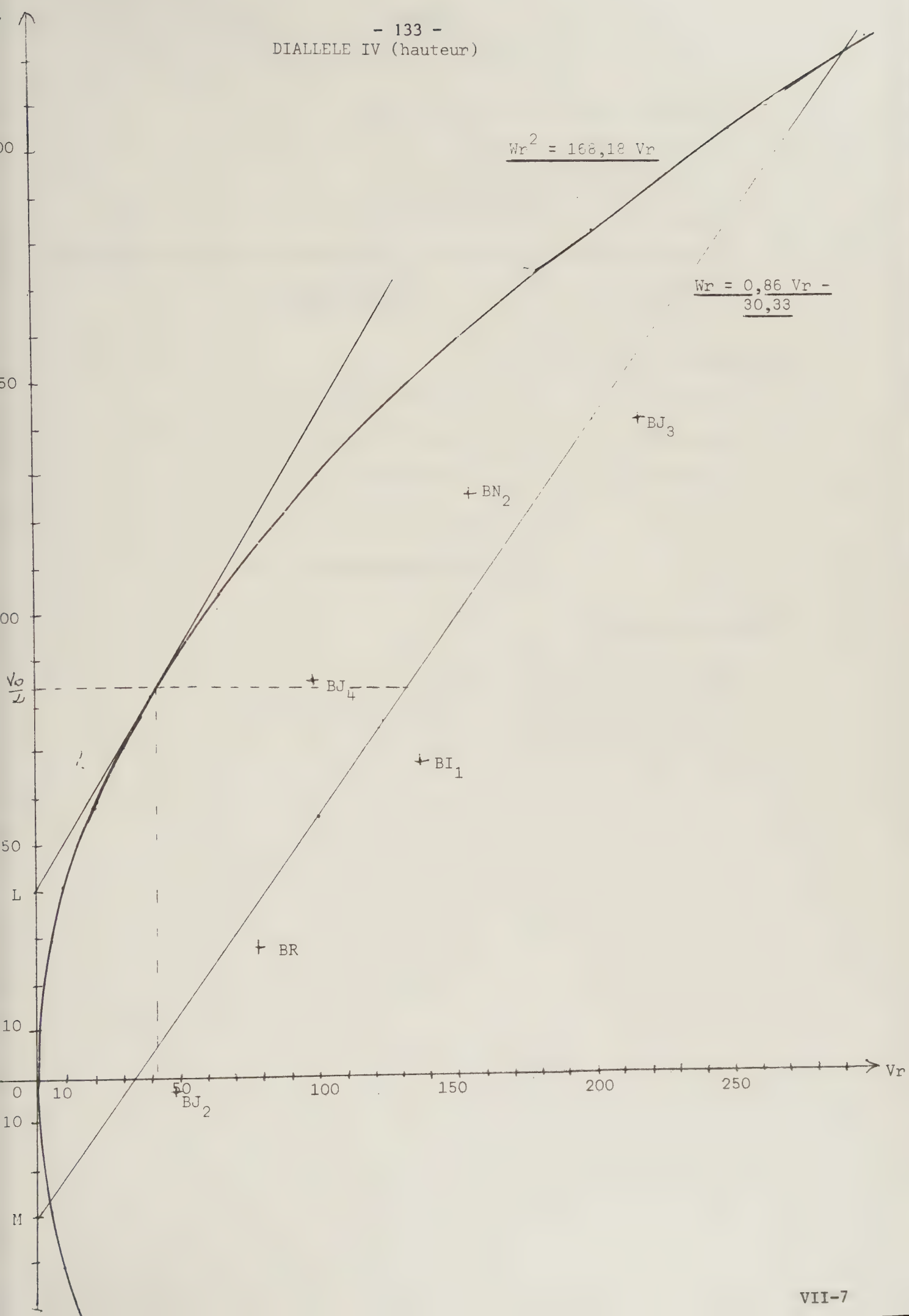
$Wr^2 = 168,18\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,86 Vr - 30,33
coefficient de corrélation r = 0,92
test d'écart de la pente par rapport à 1 :

t_{obs} = 0,30 à 4 degrés de liberté (N.S.)

DIALLELE IV (hauteur)



. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = 2,55 yr - 37,24
coefficient de corrélation r = 0,29
test de conformité (Hypothèse r = 0)

t_{obs} = 0,60 à 4 degrés de liberté(N.S.)

. coordonnées des intersections de la parabole et de la droite Wr = f(Vr)

$\begin{cases} V_D = 4,24 \\ W_D = -26,69 \end{cases}$ $\begin{cases} V_R = 293,53 \\ W_R = 222,19 \end{cases}$

COMPOSANTS

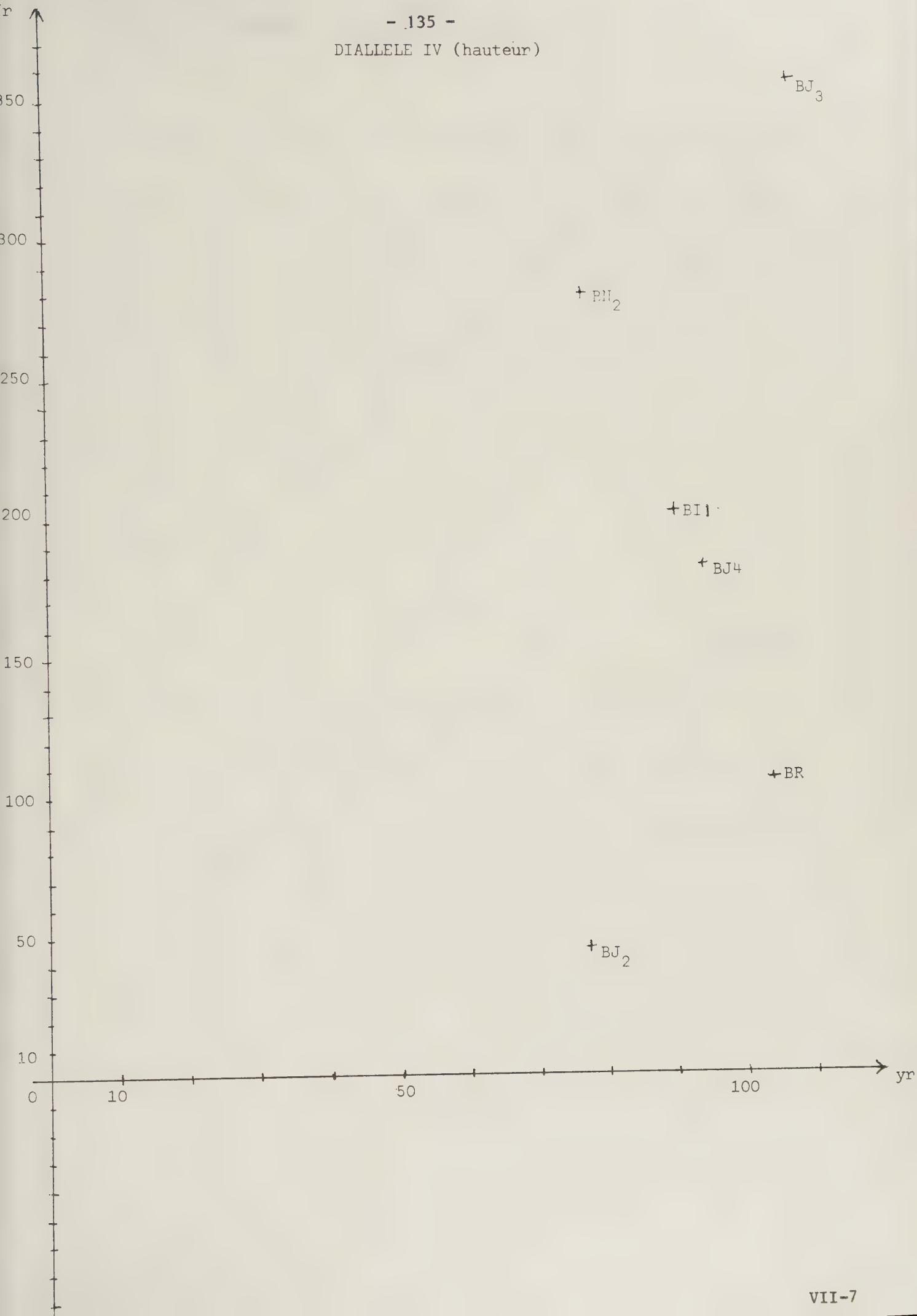
Additivité	A = 168,18 ± 35,20	(S.)
Dominance	D = 359,94 ± 93,26	(S.)
Interaction	I = 39,08 ± 86,00	(N.S.)
	A - D = - 191,76 ± 78,48	(S.)

$\frac{D}{A}$ = 2,14 (graphiquement : 1,75)

IDENTITE DES LIGNEES

BI_2	BI.5.12.10.3.7.1.5.	(I_7)
BJ_2	BJ.6.88.15.13.8.5.	(I_6)
BJ_3	BJ.6.10.12.12.3.11.	(I_6)
BJ_4	BJ.23.78.15.6.2.	(I_5)
BN_2	BN.8.56.1.14.15.12.	(I_6)
BR	BR.29.16.3.5.11.1.	(I_6)

DIALLELE IV (hauteur)



VII-8. ANALYSE DIALLELE V (variable : hauteur)

DONNEES BRUTES (le diallèle a été réalisé sans croisements réciproques)

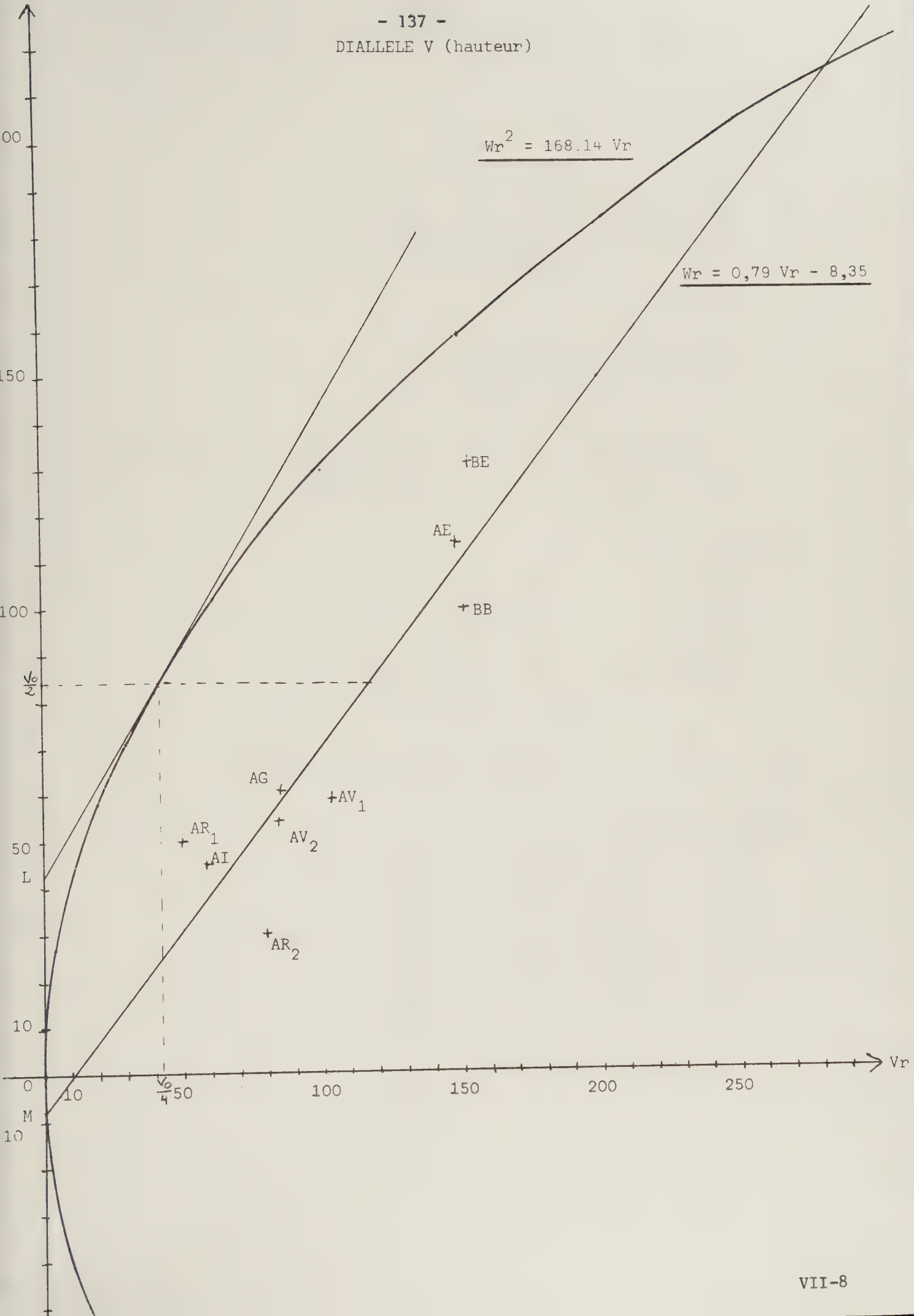
♀ \ ♂	AE	AG	AI	AR_1	AR_2	AV_1	AV_2	BB	BE
AE	77,0	108,3	106,9	110,7	113,5	107,1	102,8	103,4	85,8
AG	92,9	110,1	115,1	115,9	118,4	104,9	105,8	93,1	
AI	99,0	114,6	112,1	121,7	107,0	98,7	101,5		
AR_1	101,7	106,2	115,0	108,4	106,6	93,7			
AR_2	90,0	118,4	112,7	102,0	102,2				
AV_1	90,2	115,4	114,0	100,3					
AV_2	90,0	109,6	89,5						
BB	73,3	89,2							
BE	61,7								

RESULTATS

Vo = 168,14

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
AE	148,37	114,47	- 33,90	262,84	77,0
AG	85,46	60,78	- 24,68	146,24	92,9
AI	58,05	44,64	- 13,41	102,69	99,0
AR_1	49,97	50,08	+ 0,11	100,05	101,7
AR_2	79,56	29,68	- 49,88	109,24	90,0
AV_1	103,81	58,69	- 45,12	162,50	90,2
AV_2	83,98	54,02	- 29,96	138,00	90,0
BB	151,42	100,29	- 51,13	251,71	73,3
BE	153,06	131,66	- 21,40	284,72	61,7

DIALLELE V (hauteur)



. équation de la parabole :

$Wr^2 = 168,14\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,79 Vr - 8,35
coefficient de corrélation r = 0,90
test d'écart de la pente par rapport à 1 :

$t_{obs} = 0,64$ à 7 degrés de liberté(N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = - 5,36 yr + 634,90
coefficient de corrélation r = 0,95
test de conformité (Hypothèse r = 0)

$t_{obs} = 7,76$ à 7 degrés de liberté(H.S.)

. coordonnées des intersections de la parabole et de la droite Wr = f(Vr)

$\begin{cases} V_D = 0,39 \\ W_D = -8,07 \end{cases}$ $\begin{cases} V_R = 292,16 \\ W_R = 221,64 \end{cases}$

COMPOSANTS

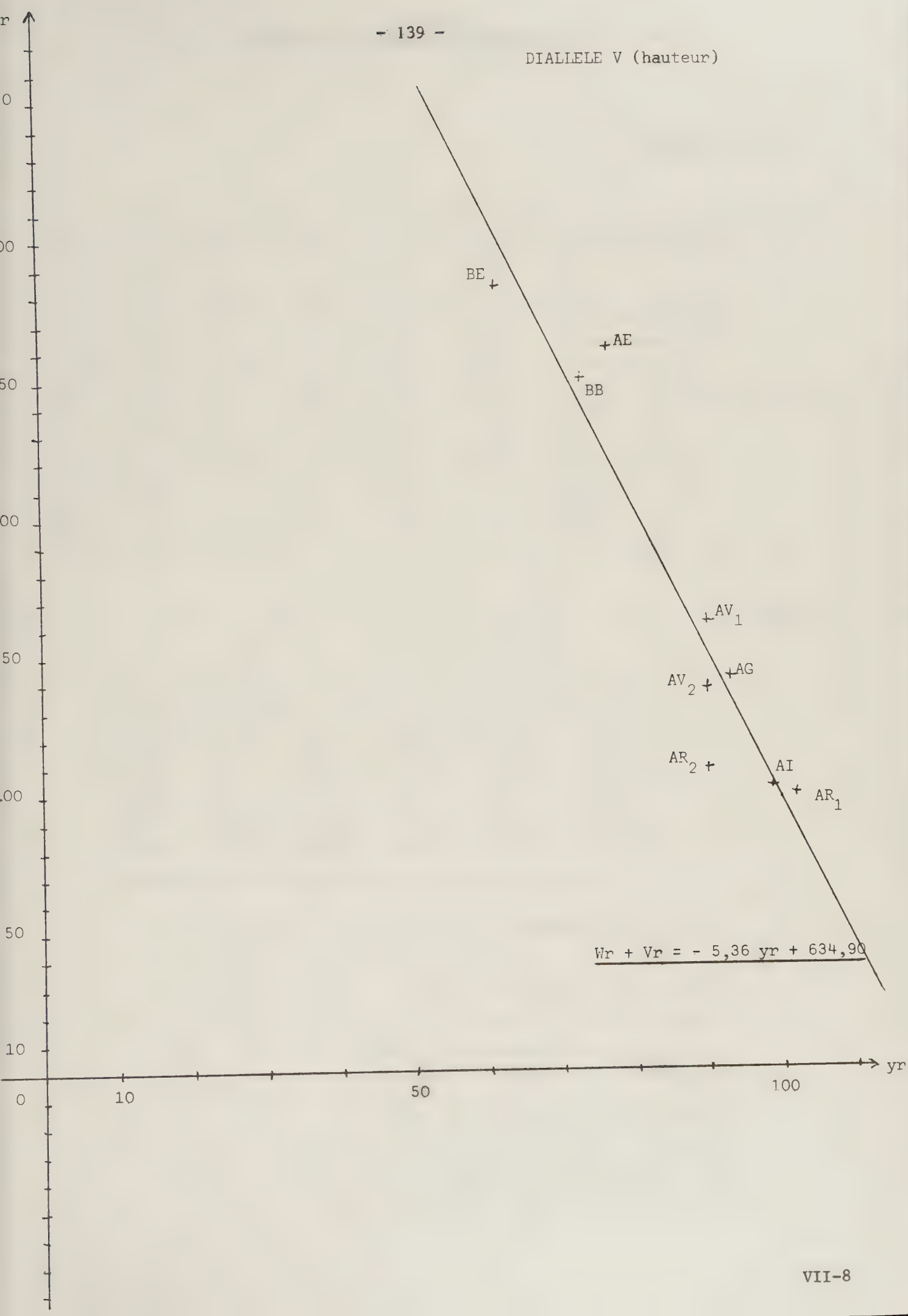
Additivité	A =	168,14 ± 25,15	(S.)
Dominance	D =	287,86 ± 57,00	(S.)
Interaction	I =	49,92 ± 58,64	(N.S.)
	A - D =	- 119,72 ± 47,14	(S.)

$\frac{D}{A} = 1,71$ (graphiquement : 1,20)

IDENTITE DES LIGNEES

AE	AE.8.5.1.2.11.5.1.	(I_7)
AG	AG.3.17.5.16.8.1.4.	(I_7)
AI	AI.22.8.2.15.2.2.	(I_6)
AR_1	AR.22.2.1.1.1.3.	(I_6)
AR_2	AR.22.2.1.4.1.23.	(I_6)
AV_1	AV.4.12.7.11.3.14.	(I_6)
AV_2	AV.30.12.2.22.8.4.10.	(I_7)
BB	BB.5.12.1.1.4.1.1.	(I_7)
BE	BE.45.9.6.6.6.4.4.	(I_7)

DIALLELE V (hauteur)



VII-9. ANALYSE DIALLELE VI (variable hauteur)

DONNEES CUMULEES

♀ \ ♂	P 241	P 250-1	P 250-2	P 266	P 290	P 292	P 298
P 241	99,8	90,0	103,2	110,4	93,5	88,6	108,4
P 250-1	90,0	68,1	91,0	102,4	98,6	86,1	94,9
P 250-2	103,2	91,0	95,1	86,8	103,2	93,0	102,5
P 266	110,4	102,4	86,8	100,0	113,0	103,8	100,3
P 290	93,5	98,6	103,2	113,0	100,0	105,9	100,6
P 292	88,6	86,1	93,0	103,8	105,9	79,4	108,5
P 298	108,4	94,9	102,5	100,3	100,6	108,5	90,0

RESULTATS

Vo = 152,20

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
P 241	75,98	65,88	- 10,10	141,86	99,8
P 250-1	124,56	122,61	- 1,95	247,17	68,1
P 250-2	44,04	31,05	- 12,99	75,09	95,1
P 266	71,97	11,01	- 50,96	82,98	100,0
P 290	37,89	7,61	- 30,28	45,50	100,0
P 292	124,34	80,71	- 43,63	205,05	79,4
P 298	55,12	12,24	- 42,88	67,36	90,0

. équation de la parabole :
$Wr^2 = 152,20\ Vr$

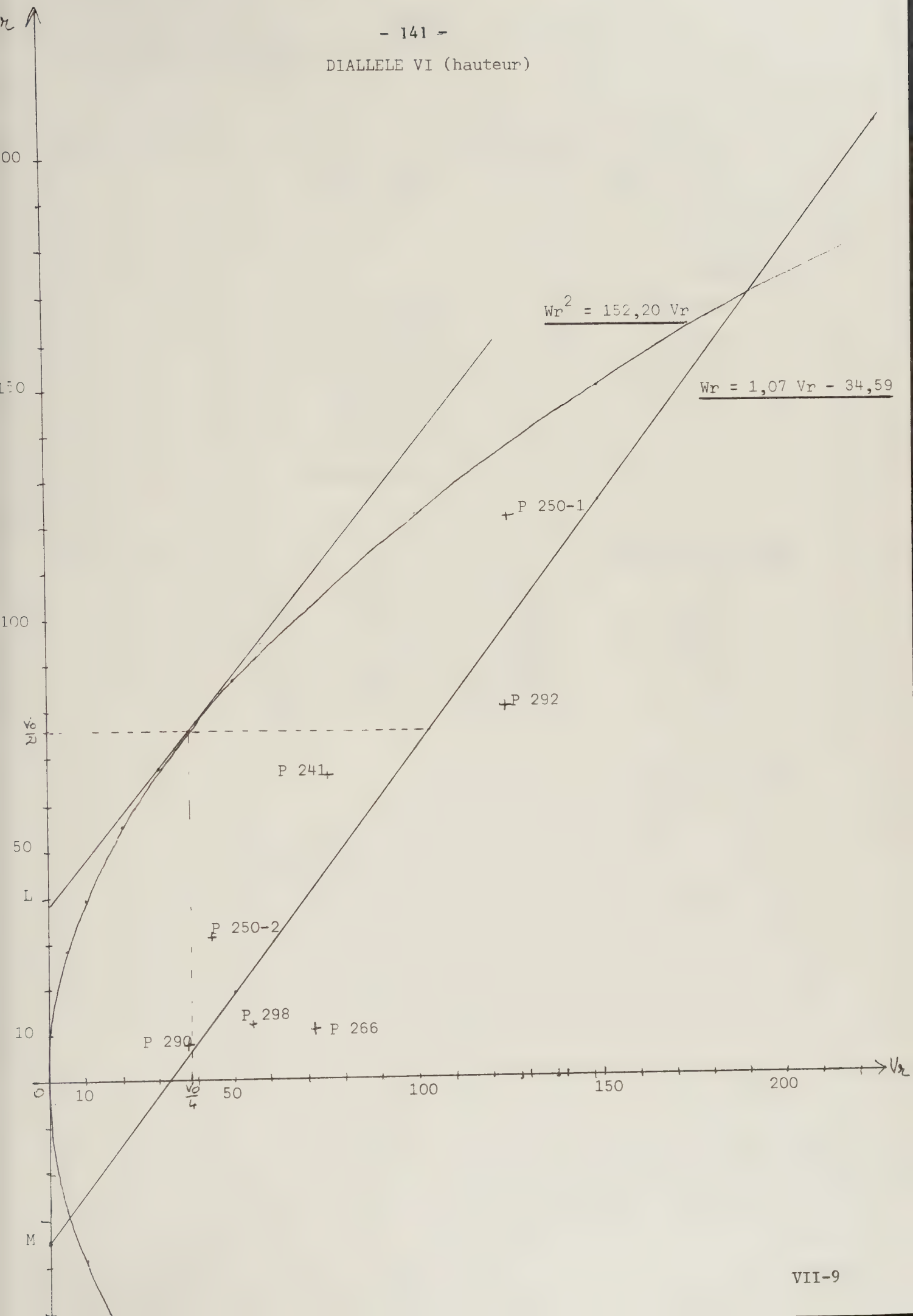
. équation de la droite Wr = f(Vr) :
Wr = 1,07 Vr - 34,59
coefficient de corrélation r = 0,87

test d'écart de la pente par rapport à 1
t_{obs} = 0,127 à 5 degrés de liberté(N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr) :
Wr + Vr = - 5,28 yr + 600,92
coefficient de corrélation r = 0,85

test de conformité (hypothèse r = 0)
t_{obs} = 3,580 à 5 degrés de liberté (H.S.)

DIALLELE VI (hauteur)



. coordonnées des intersections de la droite Wr = f(Vr) et de la parabole

V_D = 5,44 V_R = 193,00
W_D = - 28,77 W_R = 171,39

COMPOSANTS

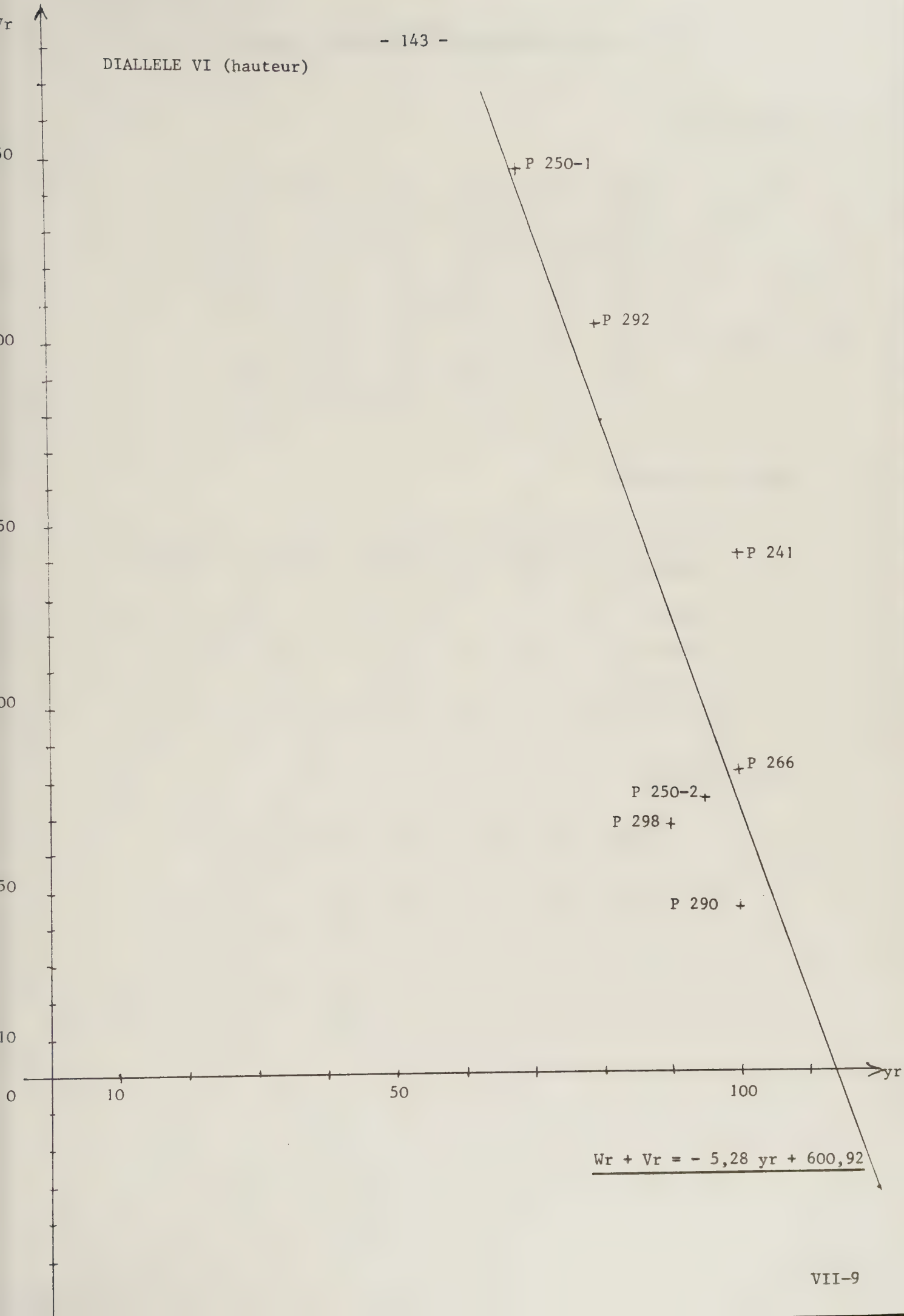
Additivité	A = 152,20 $\pm$ 28,50	(S.)
Dominance	D = 268,08 $\pm$ 71,11	(S.)
Interaction	I = 115,20 $\pm$ 50,43	(S.)
	A - D = - 115,88 $\pm$ 59,56	(S.)

$\frac{D}{A}$ = 1,76 (graphiquement : 1,91)

IDENTITE DES LIGNEES

P 241	P 241.10.2.3.1.4.2.12.	(I_7)
P 250-1	P 250.3.12.2.4.5.5.6.	(I_7)
P 250-2	P 250.17.9.15.5.2.4.5.	(I_7)
P 266	P 266.5.7.5.3.5.4.15.	(I_7)
P 290	P 290.22.2.7.1.9.6.12.	(I_7)
P 292	P 292.23.6.15.2.3.5.12.	(I_7)
P 298	P 298.1.23.1.15.11.4.19.	(I_7)

DIALLELE VI (hauteur)



VII- 10. ANALYSE DIALLELE I : variable : floraison

DONNEES BRUTES

♀ \ ♂	249	259	282	408	416
249	180,6	172,4	162,3	174,0	169,3
259	173,0	174,1	159,7	171,8	179,9
282	163,8	170,2	173,0	157,6	154,7
408	172,2	169,0	157,0	161,7	169,0
416	157,3	159,3	161,8	164,3	155,1

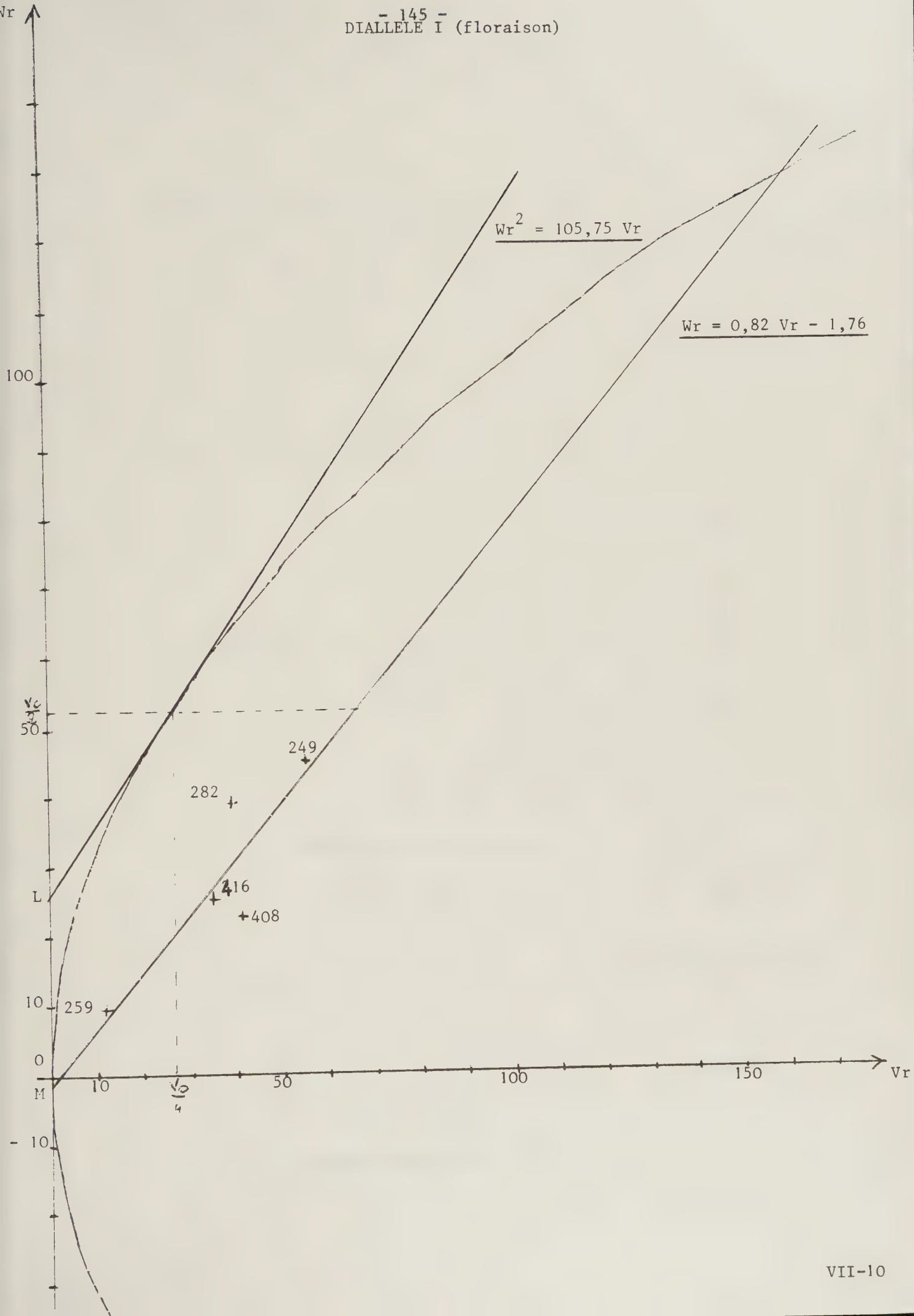
ANALYSE DE VARIANCE

variation	degrés de liberté	somme des carrés	variance	F observé
générale	24	1 402,57	58,44	
lignes	4	549,69	137,42	3,14 (S.)
réciproque	1	20,80	20,80	0,47(N.S.)
résiduelle	19	832,08	43,79	

TABLEAU D'ANALYSE

♀ \ ♂	249	259	282	408	416
249	180,6	172,7	163,0	173,1	163,3
259	172,7	174,1	165,0	170,4	169,6
282	163,0	165,0	173,0	157,3	158,3
408	173,1	170,4	157,3	161,7	166 7
416	163,3	169,6	158,3	166,7	155,1

DIALLELE I (floraison)



RESULTATS

Vo = 105,75 Vr

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
249	55,42	44,87	- 10,55	100,29	180,6
259	12,19	8,76	- 3,43	20,95	174,1
282	39,52	39,32	- 0,20	78,84	173,0
408	41,08	22,89	- 18,18	63,97	161,7
416	35,26	25,23	- 10,03	60,49	155,1

. équation de la parabole :

$Wr^2 = 105,75\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,82 Vr - 1,76
coefficient de corrélation r = 0,89
test de déviation de la pente de la droite par rapport à 1 :

t_{obs} = 0,31 à 3 degrés de liberté(N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = 0,73 yr - 58,97
coefficient de corrélation r = 0,26
test de conformité (Hypothèse r = 0)

t_{obs} = 0,47 à 3 degrés de liberté(N.S.)

. intersections de la parabole et de la droite :

$\begin{cases} V_D = 0,03 \\ W_D = -1,74 \end{cases}$ $\qquad$ $\begin{cases} V_R = 162,12 \\ W_R = 131,18 \end{cases}$

CALCUL DES COMPOSANTS

Additivité $\qquad A = 105,75 \pm 10,60$ (S.)

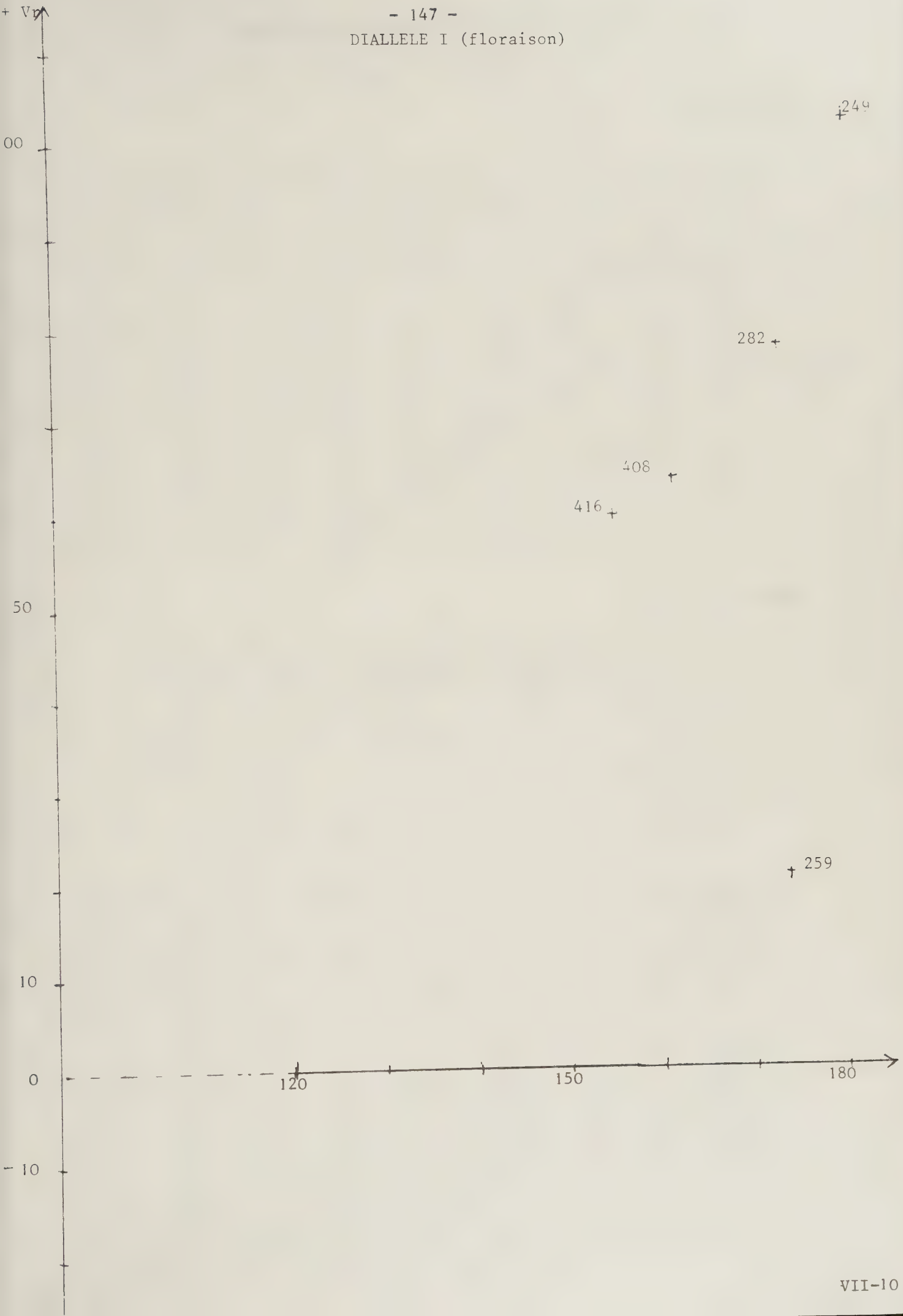
Dominance $\qquad D = 139,66 \pm 30,14$ (S.)

Interaction $\qquad I = 98,64 \pm 26,48$ (S.)

$A - D = -33,90 \pm 25,44$ (S.)

$\frac{D}{A} = 1,32$ (graphiquement : 1,08)

DIALLELE I (floraison)



VII-11. ANALYSE DIALLELE II : variable : floraison

DONNEES BRUTES

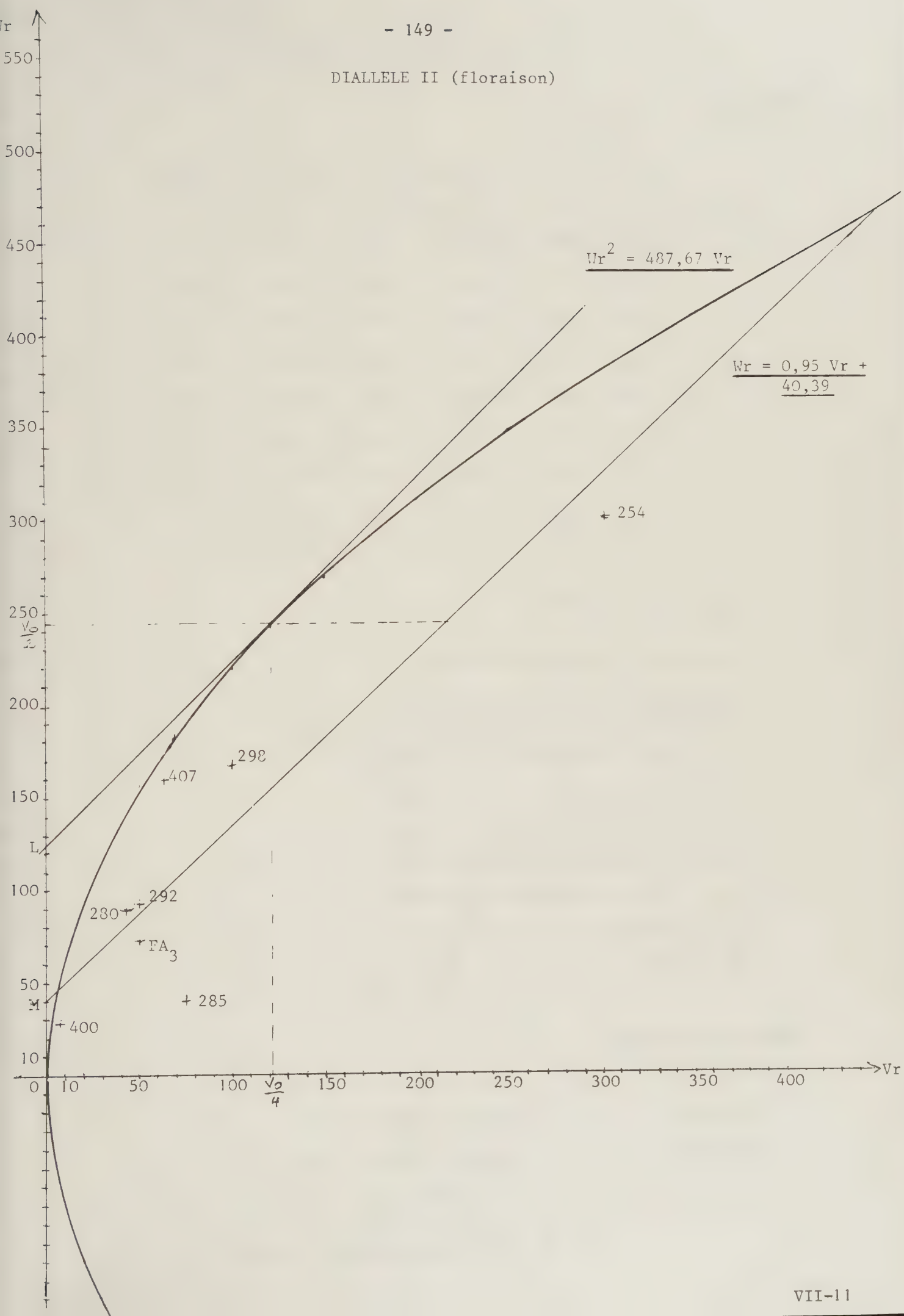
♀ \ ♂	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254	201,4	156,5	147,6	159,2	156,9	160,1	149,8	164,3
280	161,2	149,5	160,5	163,0	155,3	158,7	156,1	162,7
285	148,0	167,4	156,6	160,6	144,8	158,2	149 8	168,1
292	162,7	162,7	160,1	173,0	153,3	157 9	150,7	167,6
298	155,7	143,0	141,6	149,8	130,6	155,0	138,2	150,0
400	167,6	160,5	159,0	159,8	169,0	163,1	157,1	160,5
FA_3	146,0	152,8	150,0	153,2	142,1	156,9	142 1	160 3
407	193,7	170,6	163,8	165,3	156,8	166 1	161,5	175,2

ANALYSE DE VARIANCE

variation	degrés de liberté	somme des carrés	variance	F observé
générale	63	7 940,14	126,03	
lignes	7	3 046,51	435,21	4,96(H.S.)
réciproques	1	64,40	64,40	0,73(N.S.)
résiduelle	55	4 829,23	87,80	

♀ \ ♂	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254	201,4	158,8	147,8	161,0	156,3	163,8	147,9	179,0
280	158,8	149,5	163,9	162,9	149,1	159,6	154,5	166,6
285	147,8	163,9	156,6	160,4	143,2	158,6	149,9	165,9
292	161,0	162,9	160,4	173,0	151,6	158,8	152,0	166,4
298	156,3	149,1	143,2	151,6	130,6	162,0	140,2	153,4
400	163,8	159,6	158,6	158,8	162,0	163,1	157,0	163,3
FA_3	147,9	154,5	149,9	152,0	140,2	157,0	142,1	160,9
407	179,0	166,6	165,9	166,4	153,4	163,3	160,9	175,2

DIALLELE II (floraison)



RESULTATS

Vo = 487,67

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
254	319,83	336,46	+ 16,63	656,29	201,4
280	42,80	89,24	+ 46,44	132,04	149,5
285	64,97	39,89	- 25,08	104,86	156,6
292	50,12	93,36	+ 43,24	143,48	173,0
298	99,16	166,91	+ 67,75	266,07	130,6
400	6,67	28,06	+ 21,39	34,73	163,1
FA_3	50,34	71,80	+ 21,46	122,14	142,1
407	63,62	160,96	+ 97,34	224,58	175,2

. équation de la parabole :

$Wr^2 = 487,67\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,95 Vr + 40,39
coefficient de corrélation r = 0,93
test de déviation de la droite par rapport à 1 :

t_{obs} = 0,12 à 6 degrés de liberté (N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = 5,38 yr - 658,88
coefficient de corrélation r = 0,61
test de conformité (Hypothèse r = 0)

t_{obs} = 1,88 à 6 degrés de liberté (N.S.)

. intersections de la parabole et de la droite

$\begin{cases} V_D = 4,00 \\ W_D = 44,19 \end{cases}$ $\qquad$ $\begin{cases} V_R = 452,58 \\ W_R = 470,34 \end{cases}$

CALCUL DES COMPOSANTS

Additivité $\qquad A = 487,67 \pm 54,06 \quad (S.)$

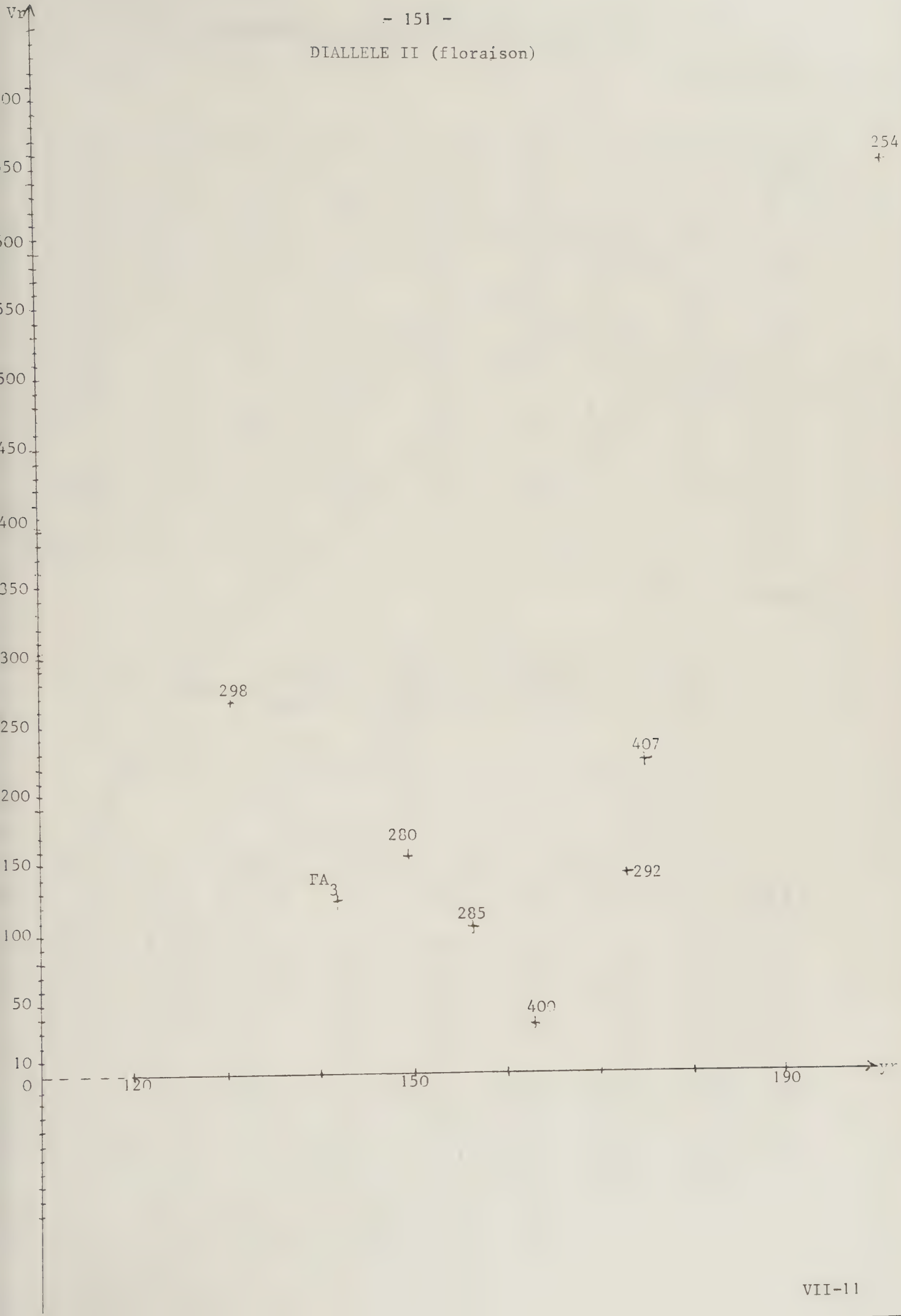
Dominance $\qquad D = 343,08 \pm 128,12 \quad (S.)$

Interaction $\qquad I = 481,98 \pm 127,71 \quad (S.)$

$A - D = 144,59 \pm 106,68 \quad (S.)$

$\frac{D}{A} = 0,70$ (graphiquement : 0,68)

DIALLELE II (floraison)



VII-12. ANALYSE DIALLELE III : variable : floraison

DONNEES BRUTES

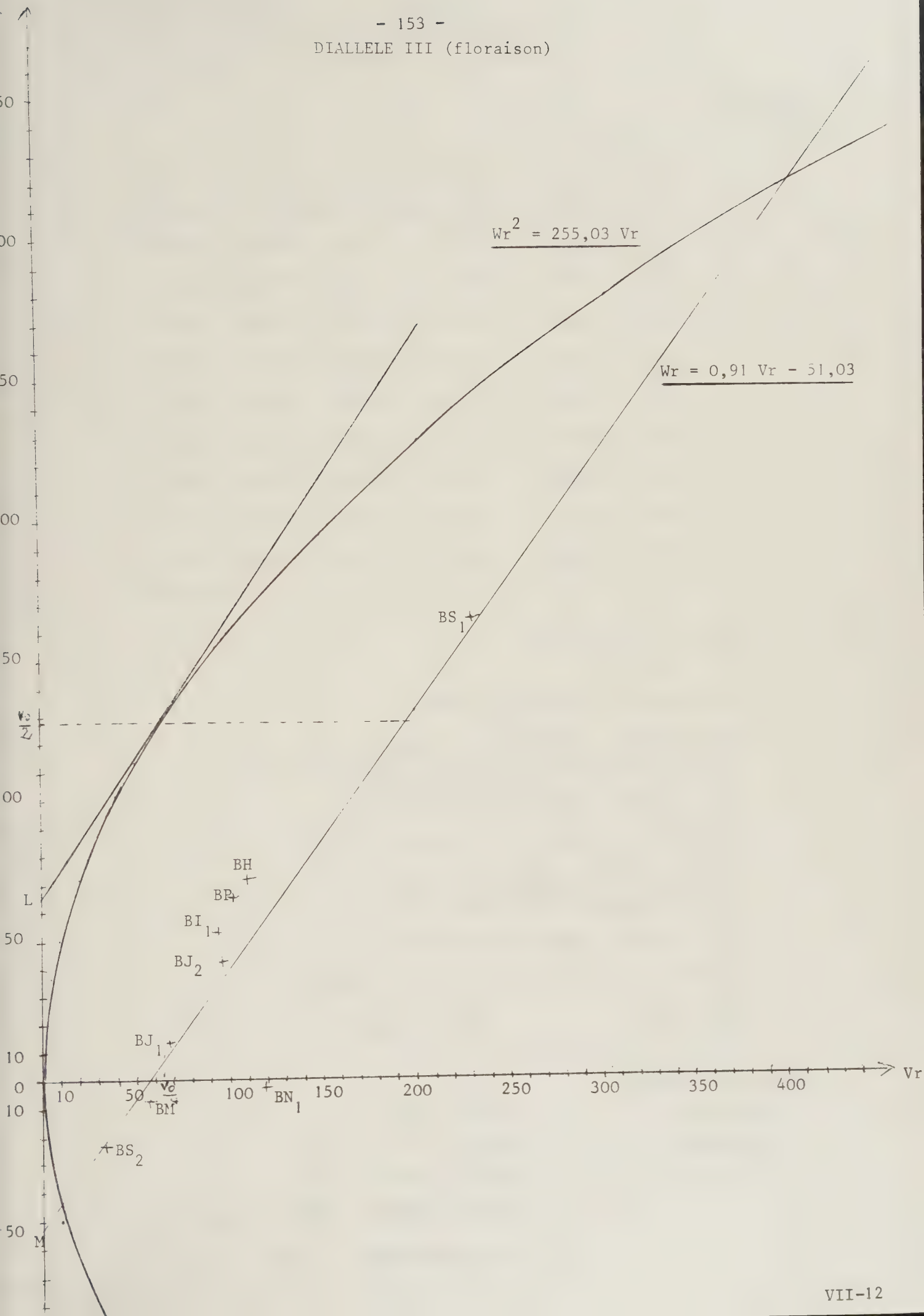
♀ \ ♂	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH	184,5	167,7	162,5	158,1	165,1	174,8	164.9	152,9	157,8
BI_1	166,5	159,2	180,3	160,0	164,6	162,9	134,1	150,1	158,2
BJ_1	153,9	140,4	161,9	148,9	159,9	139,2	148,9	151,2	140,2
BJ_2	149,4	144,9	157,5	147,0	143,0	171,5	145,5	161,7	145,1
BM	160,8	150,4	168,5	148,2	164,5	153,5	158,0	144,6	153,1
BN_1	173,9	160,9	143,1	182,7	156,4	163,7	163,3	158,4	158,0
BP	152,1	134,0	147,2	149,6	171,6	161,2	150,1	163,3	158,5
BS_1	159,0	147,1	145,2	146,2	148,5	153,8	161,9	194,0	145,5
BS_2	149,5	143,7	141,2	144,5	153,2	149,9	164,3	140,7	149,5

ANALYSE DE VARIANCE

variation	degrés de liberté	somme des carrés	variance	F observé
générale	80	10 284,05	128,55	
lignes	8	2 252,31	281,54	2,53 (S.)
réciproques	1	153,20	153,20	1,38 (N.S.)
résiduelle	71	7 878,54	110,96	

♀ \ ♂	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH	184,5	167,1	158,2	153,8	163,0	174,3	158,5	155,9	153,7
BI_1	167,1	159,2	160,3	152,4	157,5	161,9	134,0	148,6	150,9
BJ_1	158,2	160,3	161,9	153,2	164,2	141,1	148,1	148,2	144,7
BJ_2	153,8	152,4	153,2	147,0	145,6	177,1	147,5	154,0	144,8
BM	163,0	157,5	164,2	145,6	164,5	155,0	164,8	146,5	153,2
BN_1	174,3	161,9	141,1	177,1	155,0	163,7	162,2	156,1	154,0
BP	158,5	134,0	148,1	147,5	164,8	162,2	150,1	162,6	161,4
BS_1	155,9	148,6	148,2	154,0	146,5	156,1	162,6	194,0	143,1
BS_2	153,7	150,9	144,7	144,8	153,2	154,0	161,4	143,1	149,5

DIALLELE III (floraison)



RESULTATS

Vo = 255,03

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
BH	108,89	71,11	- 37,78	180,00	184,5
BI_1	93,81	52,37	- 41,44	146,18	159,2
BJ_1	67,70	12,95	- 54,75	80,65	161,9
BJ_2	96,35	41,87	- 54,48	138,22	147,0
BM	57,95	- 8,06	- 66,01	49,89	164,5
BN_1	118,65	- 3,78	- 122,43	114,87	163,7
BP	103,00	64,94	- 38,06	167,94	150,1
BS_1	232,63	164,41	- 68,22	397,04	194,0
BS_2	33,82	- 23,23	- 57,05	10,59	149,5

. équation de la parabole

$Wr^2 = 255,03\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,91 Vr - 51,03
coefficient de corrélation r = 0,89
test de déviation de la droite par rapport à 1 :

t_{obs} = 0,23 à 7 degrés de liberté(N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = 4,96 yr - 669,10
coefficient de corrélation r = 0,72
test de conformité (Hypothèse r = 0)

t_{obs} = 2,73 à 7 degrés de liberté(S.)

. intersections de la droite et de la parabole :

$\begin{cases} V_D = 7,63 \\ W_D = 44,10 \end{cases}$ $\begin{cases} V_R = 411,53 \\ W_R = 323,96 \end{cases}$

CALCUL DES COMPOSANTS

Additivité A = 255,03 $\pm$ 37,89 (S.)

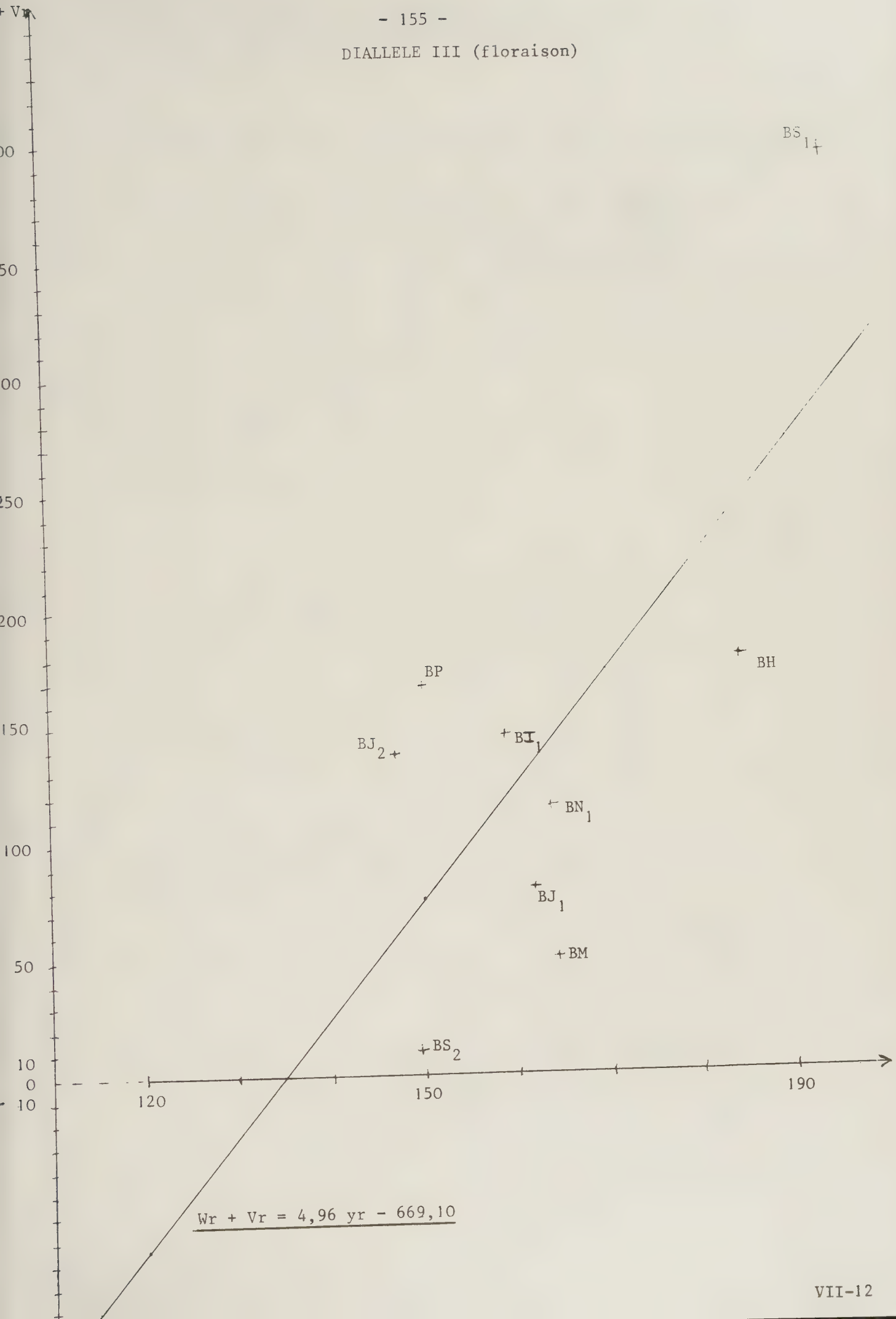
Dominance D = 495,11 $\pm$ 85,93 (S.)

Interaction I = 344,46 $\pm$ 88,43 (S.)

A - D = - 203,44 $\pm$ 71,09 (S.)

$\frac{D}{A}$ = 1,94 (graphiquement : 1,78)

DIALLELE III (floraison)



VII-13. ANALYSE DIALLELE IV (variable : floraison)

DONNEES BRUTES (le diallèle a été réalisé sans croisements réciproques)

♀ \ ♂	BI_2	BJ_2	BJ_3	BJ_4	BN_2	BR
BI_2	161,5	151,5	163,3	166,5	158,8	167,7
BJ_2	154,1	154,2	157,7	151,5	166,7	
BJ_3	176,3	164,6	158,1	167,9		
BJ_4	158,5	165,2	165,4			
BN_2	172,8	171,0				
BR	185,6					

RESULTATS

Vo = 145,46

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
BI_2	34,79	40,51	+ 5,72	75,30	161,5
BJ_2	32,94	38,27	+ 5,33	71,21	154,1
BJ_3	59,63	55,48	- 4,15	115,11	176,3
BJ_4	14,75	31,95	+ 17,20	46,70	158,5
BN_2	67,74	62,70	- 5,04	130,44	172,8
BR	56,61	73,17	+ 16,56	129,78	185,6

. équation de la parabole :

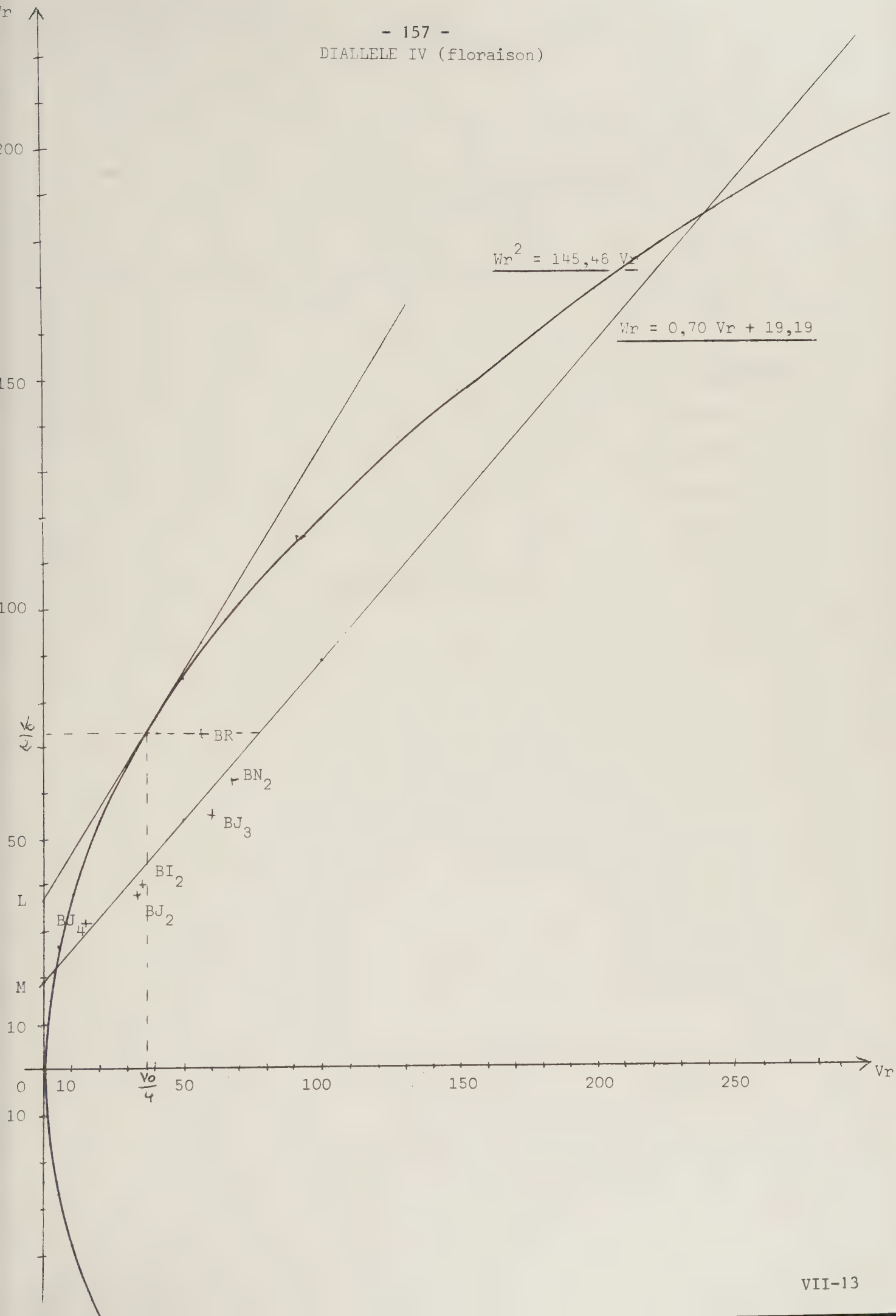
$Wr^2 = 145,46\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,70 Vr + 19,19
coefficient de corrélation r = 0,88
test d'écart de la pente par rapport à 1 :

t_{obs} = 0,93 à 4 degrés de liberté(N.S.)

DIALLELE IV (floraison)



. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = 2,57 yr - 336,83
coefficient de corrélation r = 0,88
test de conformité (Hypothèse r = 0)

t_{obs} = 3,74 à 4 degrés de liberté(S.)

. coordonnées des intersections de la parabole et de la droite Wr = f(Vr)

$\begin{cases} V_D = 3,14 \\ W_D = 21,38 \end{cases}$ $\qquad$ $\begin{cases} V_R = 238,88 \\ W_R = 186,40 \end{cases}$

COMPOSANTS

Additivité $\quad A = 145,46 \pm 14,39 \quad$ (S.)

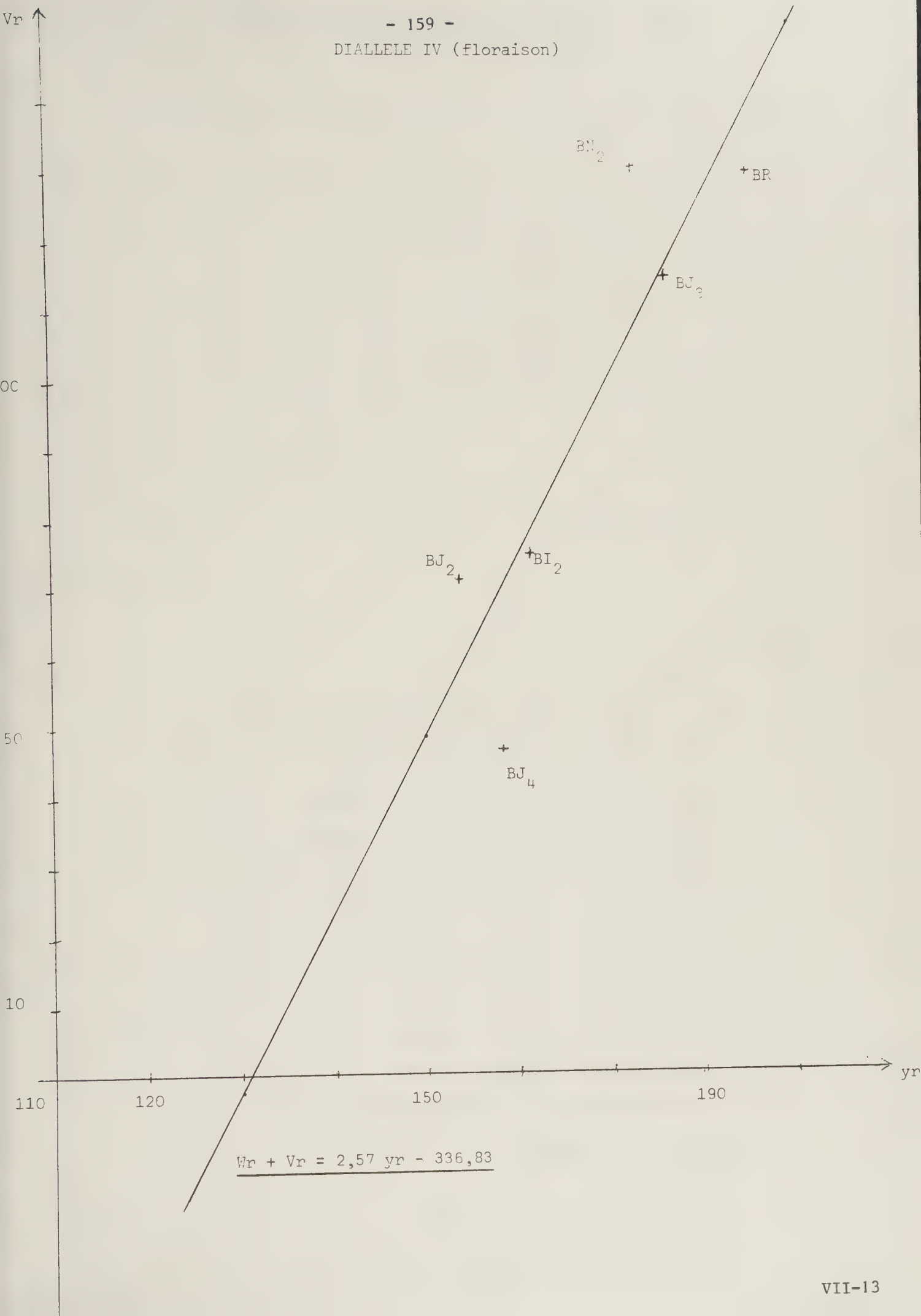
Dominance $\quad D = 121,70 \pm 38,12 \quad$ (S.)

Interaction $\quad I = 89,52 \pm 35,16 \quad$ (S.)

$A - D = 23,76 \pm 32,08 \quad$ (N.S.)

$\frac{D}{A} = 0,84$ (graphiquement : 0,49)

DIALLELE IV (floraison)



Wr + Vr = 2,57 yr - 336,83

VII-14 ANALYSE DIALLELE V (variable floraison)

DONNEES BRUTES (le diallèle a été réalisé sans croisements réciproques)

	AE	AG	AI	AR_1	AR_2	AV_1	AV_2	BB	BE
AE	154,2	161,8	151,8	159,7	166,6	149,7	164,6	160,0	150,3
AG		145,3	152,9	156,8	161,4	158,4	155,0	157,7	151,5
AI			146,6	156,1	150,4	155,7	152,1	152,7	146,6
AR_1				147,5	156,5	154,0	159,5	157,2	151,1
AR_2					156,0	162,5	161,3	159,0	154,4
AV_1						151,1	166,9	154,3	150,8
AV_2							167,0	155,1	151,0
BB								153,9	149,9
BE									153,8

RESULTATS

Vo = 42,71

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
AE	39,84	15,69	- 24,15	55,53	154,2
AG	27,04	12,47	- 14,57	39,51	145,3
AI	11,46	- 1,23	- 12,69	10,23	146,6
AR_1	15,63	11,86	- 3,77	27,49	147,5
AR_2	23,81	8,97	- 14,84	32,78	156,0
AV_1	33,06	20,31	- 12,75	53,37	151,1
AV_2	38,23	21,65	- 16,58	59,88	167,0
BB	10,45	- 0,21	- 10,66	10,24	153,9
BE	5,09	4,35	- 0,74	9,44	153,8

. équation de la parabole :

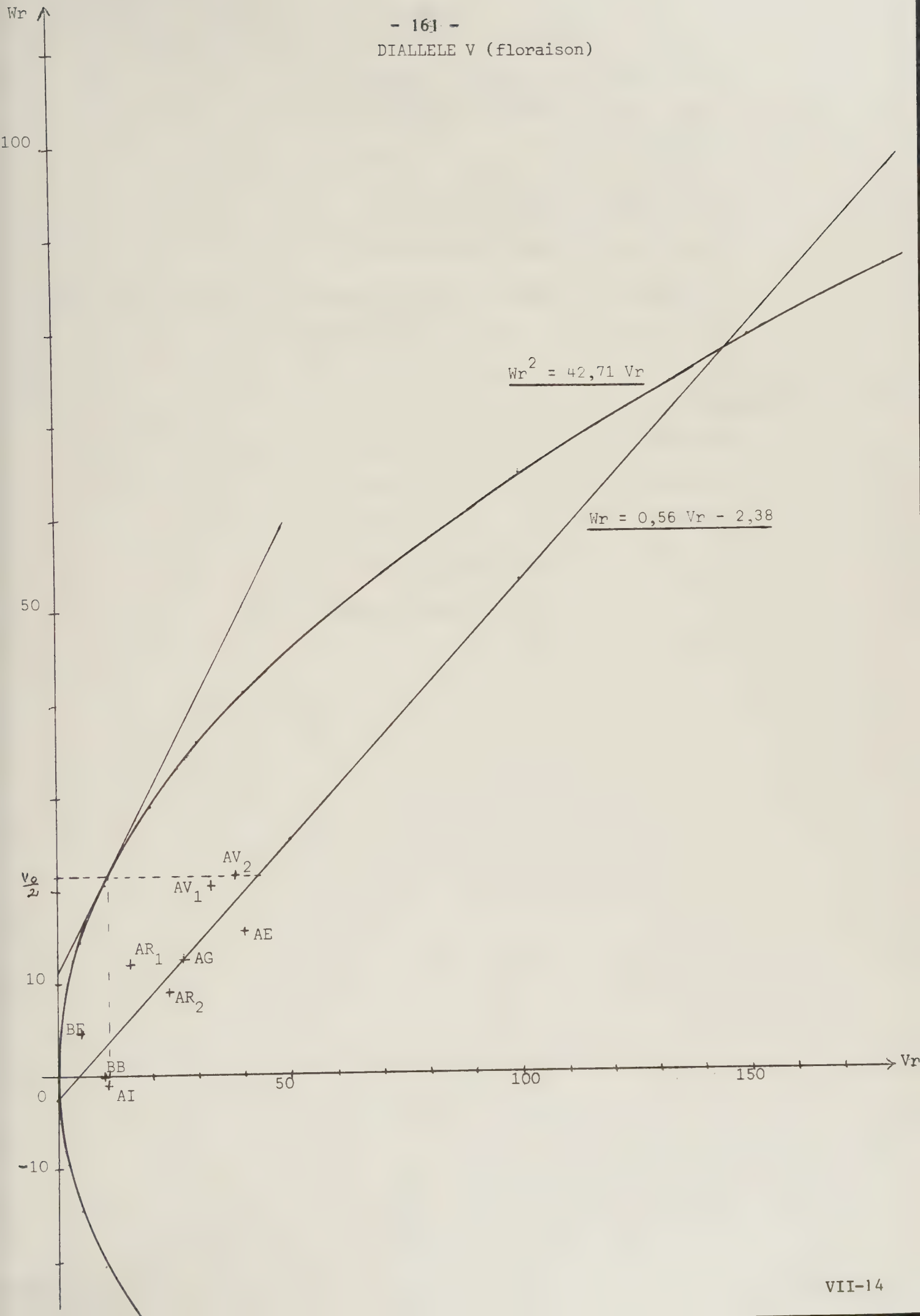
$Wr^2 = 42,71\ Vr$

. équation de la droite Wr = f(Vr)

Wr = 0,56 Vr - 2,38

coefficient de corrélation r = 0,87

DIALLELE V (floraison)



test d'écart de la pente par rapport à 1 :

t_{obs} = 1,80 à 7 degrés de liberté(N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)

Wr + Vr = 1,32 yr - 168,46
coefficient de corrélation r = 0,42
test de conformité (Hypothèse r = 0)

t_{obs} = 1,23 à 7 degrés de liberté(N.S.)

. coordonnées des intersections de la parabole et de la droite Wr = f(Vr)

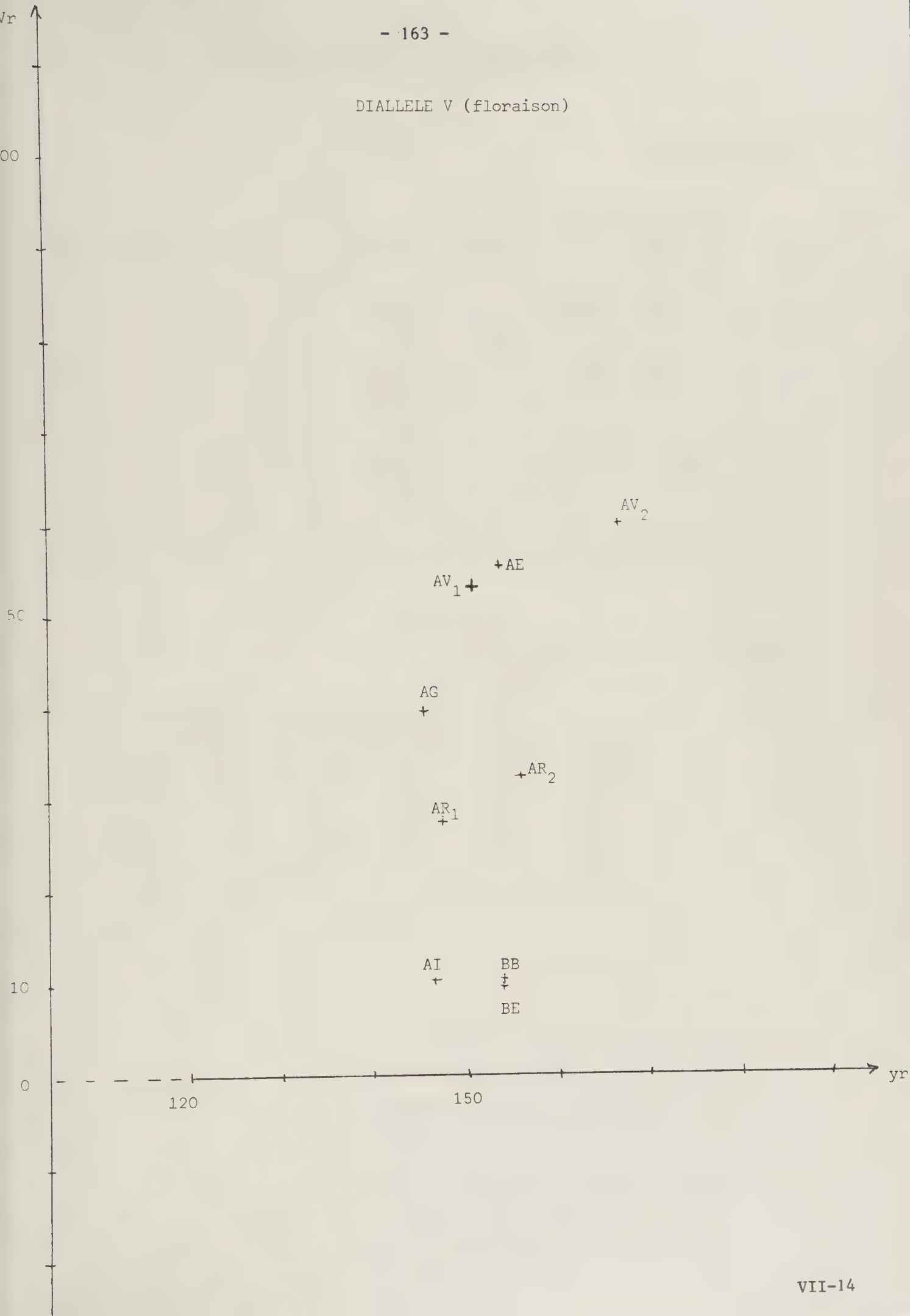
$\begin{cases} V_D = 0,12 \\ W_D = -2,31 \end{cases}$ $\begin{cases} V_R = 141,69 \\ W_R = 77,79 \end{cases}$

COMPOSANTS

Additivité	A = 42,71 ± 10,05	(S.)
Dominance	D = 91,91 ± 22,81	(S.)
Interaction	I = 43,70 ± 23,48	(S.)
	A - D = - 49,20 ± 18,87	(S.)

$\frac{D}{A}$ = 2,15 (graphiquement : 1,22)

DIALLELE V (floraison)



VII- 15 ANALYSE DIALLELE VI (variable floraison)

DONNEES CUMULEES

♀ \ ♂	P 241	P 250-1	P 250-2	P 266	P 290	P 292	P 298
P 241	161,9	146,3	158,6	154,8	143,2	142,8	153,9
P 250-1	146,3	149,2	142,5	149,7	141,6	143,0	147,9
P 250-2	158,6	142,5	168,1	169,1	147,1	144,5	167,8
P 266	154,8	149,7	169,1	176,0	161,8	151,5	164,1
P 290	143,2	141,6	147,1	161,8	168,0	153,3	156,0
P 292	142,8	143,0	144,5	151,5	153,3	154,6	149,7
P 298	153,9	147,9	167,8	164,1	156,0	149,7	169,0

RESULTATS

Vo = 85,57

	Vr	Wr	Wr - Vr	Wr + Vr	yr
P 241	57,78	30,76	- 27,02	88,54	161,9
P 250-1	11,30	0,31	- 10,99	11,61	149,2
P 250-2	142,18	88,94	- 53,24	231,12	168,1
P 266	92,87	83,58	- 9,29	176,45	176,0
P 290	95,39	57,15	- 38,24	152,54	168,0
P 292	24,90	13,47	- 11,43	38,37	154,6
P 298	74,19	66,15	- 8,04	140,34	169,0

. équation de la parabole :
Wr = 85,57 Vr

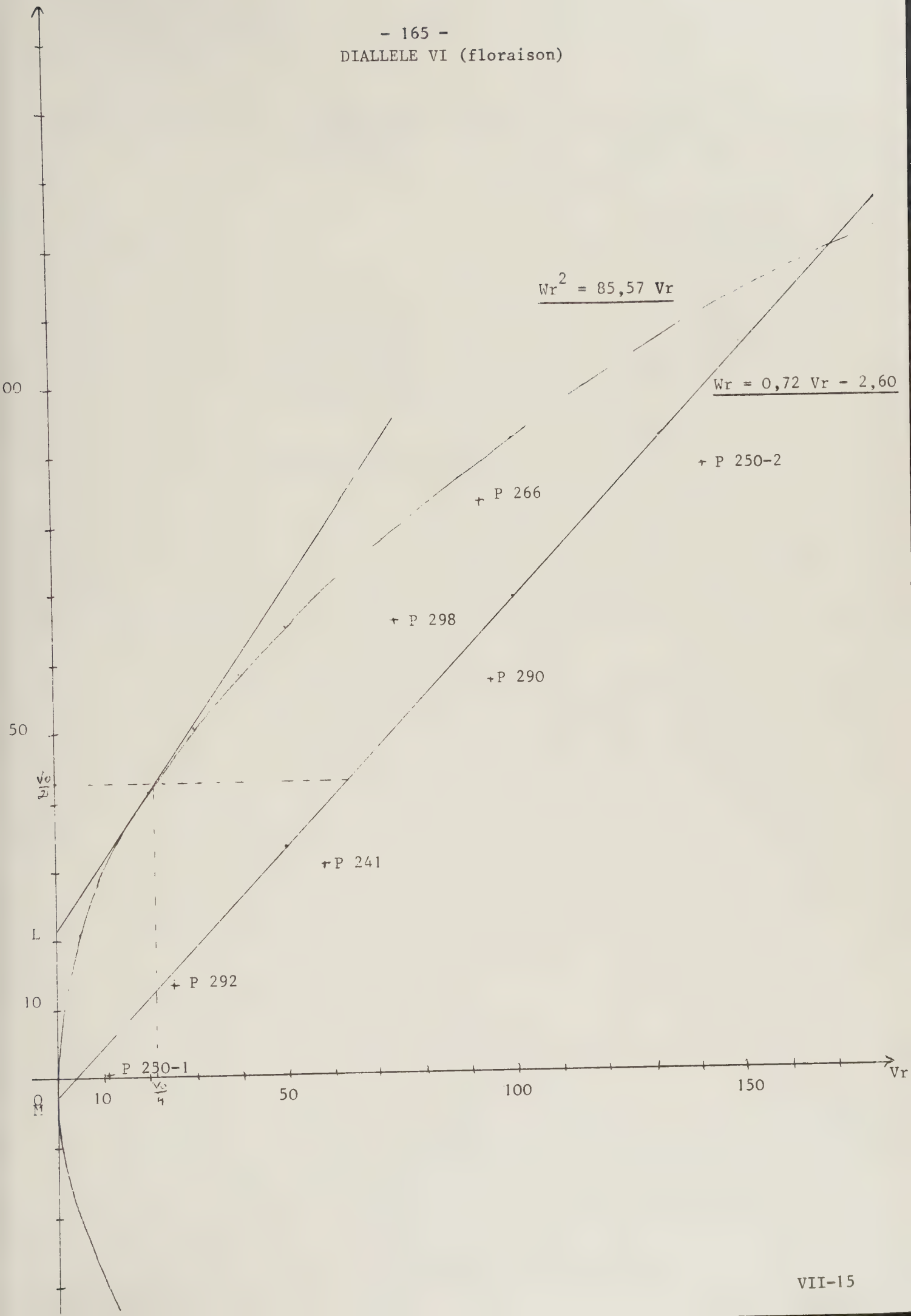
. équation de la droite Wr = f(Vr)
Wr = 0,72 Vr - 2,60
coefficient de corrélation r = 0,93

test d'écart de la pente par rapport à 1
t_{obs} = 0,814 à 5 degrés de liberté (N.S.)

. équation de la droite Wr + Vr = f(yr)
Wr + Vr = 7,41 yr - 1093,43
coefficient de corrélation r = 0,88

test de conformité (hypothèse r = 0)
t_{obs} = 18,242 à 5 degrés de liberté (H.S.)

DIALLELE VI (floraison)



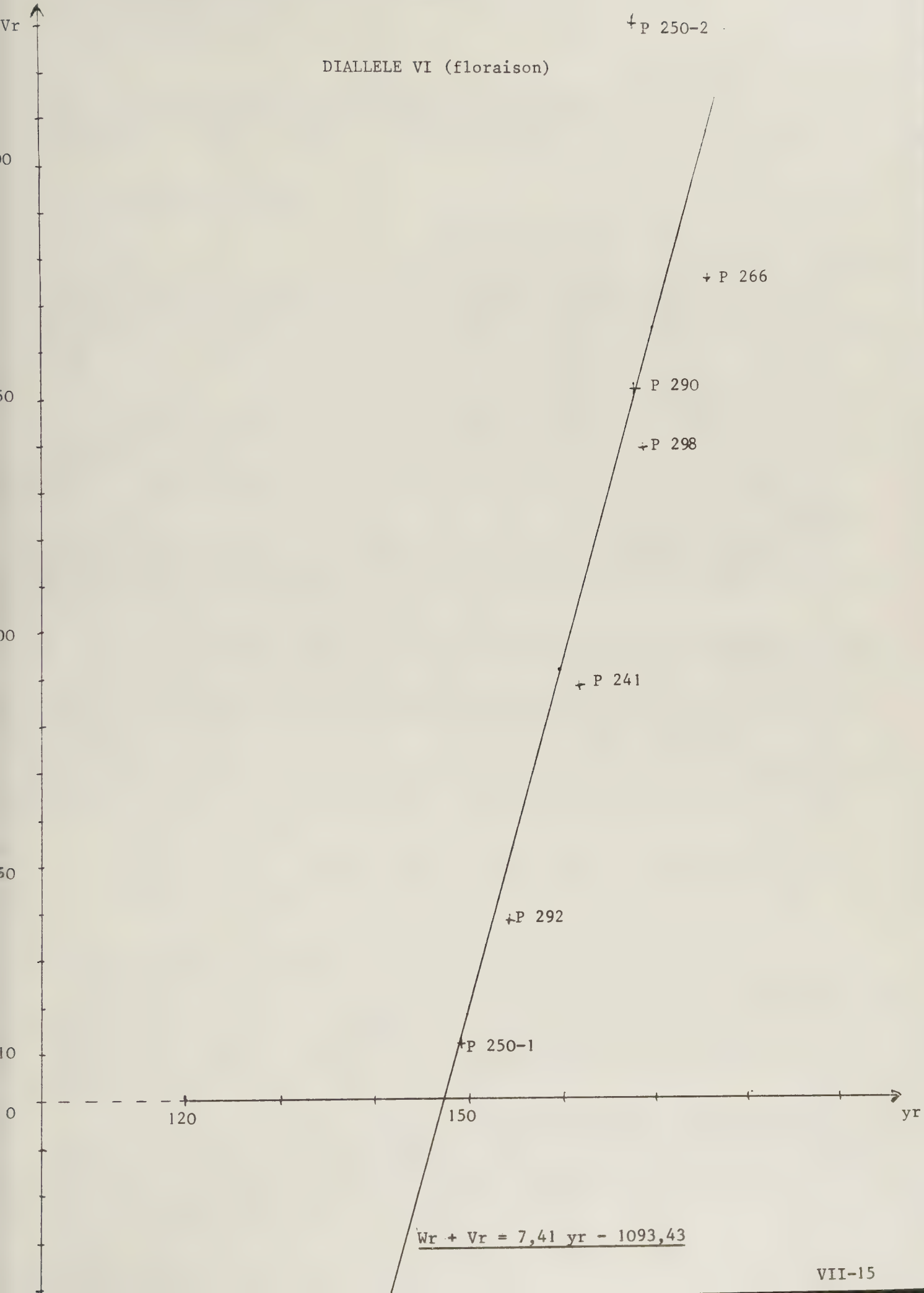
. coordonnées des intersections de la droite Wr = f(Vr) et de la parabole :

$V_D = 0,08$ $\qquad$ $V_R = 171,67$
$W_D = -2,57$ $\qquad$ $W_R = 121,20$

COMPOSANTS

Additivité	$A = 85,57 \pm 26,03$	(S.)
Dominance	$D = 176,01 \pm 64,93$	(S.)
Interaction	$I = -23,34 \pm 46,04$	(N.S.)
	$A - D = -90,44 \pm 54,39$	(S.)

$\frac{D}{A} = 2,06$ (graphiquement : 1,12)


Vr
P 250-2
DIALLELE VI (floraison)
P 266
P 290
P 298
P 241
P 292
P 250-1
120
150
yr
Wr + Vr = 7,41 yr - 1093,43

VII.3.3 les résultats

Les résultats sont présentés dans les tableaux qui précédent. Le protocole d'analyse est proposé en annexe (A-VII-1)

L'ordre est le suivant :

tableau	VII- 4	: analyse diallèle I	hauteur
"	VII- 5	: analyse diallèle II	"
"	VII- 6	: analyse diallèle III	"
"	VII- 7	: analyse diallèle IV	"
"	VII- 8	: analyse diallèle V	"
"	VII- 9	: analyse diallèle VI	"
"	VII- 10	: analyse diallèle I	floraison
"	VII- 11	: analyse diallèle II	"
"	VII- 12	: analyse diallèle III	"
"	VII- 13	: analyse diallèle IV	"
"	VII- 14	: analyse diallèle V	"
"	VII- 15	: analyse diallèle VI	"

La comparaison en sera donnée dans le chapitre suivant. Globalement, il ressort en première analyse :

. pour la hauteur : l'existence d'une tendance à la superdominance marquée par un rapport dominance à additivité supérieur à 1. Elle se manifeste dans tous les diallèles exception faite du diallèle II (cas de dominance partielle, c'est-à-dire où la variance due à l'additivité est supérieure à celle due à la dominanc

. pour la floraison : le comportement des composants génétiques est plus variable d'un croisement diallèle à l'autre puisqu'on note :

- une superdominance dans les diallèles I, III, V et VI
- une dominance totale : diallèle IV (les variances d'additivité et de dominanc ne diffèrent pas)
- une dominance partielle : diallèle II.

VII - 4 - ANALYSE POUR QUELQUES CARACTERES PARTICULIERS

VII.4.1 largeur de la fleur

Les notations effectuées au cours des sélections généalogiques ont mis en évidence, parmi les lignées issues des différentes sélections convergentes, l'apparition de phénotypes à "grosses fleurs" non révélés par la sélection généalogique directe. Ce caractère est intéressant directement pour la qualité ornementale de la fleur mais aussi pour son incidence sur l'aspect de l'inflorescence (grosseur et densité de l'épi).

Des mesures de largeur de la fleur au niveau de la lèvre supérieure ont été réalisées pour les trois premiers croisements diallèles (cf. tableau VII-16). Sur les treize lignées issues de sélection généalogique directe (Diallèles I et II), la moyenne de la largeur de la fleur est de 3,0 cm ce qui constitue déjà une dimension élevée puisque la commercialisation s'effectue pratiquement à partir de 2,5 cm.

Le diallèle III qui regroupe des lignées de la première sélection convergente présente trois génotypes remarquables : BJ_2, BM et BP qui mesurent respectivement 3,6 cm, 3,6 cm et 3,8 cm caractérisant ainsi des plantes à "grosses fleurs". La moyenne des neuf lignées du diallèle III est de 3,4 cm. Ceci est en relation avec une valeur de l'héritabilité moyenne (héritabilité au sens étroit [diallèle I]: $h^2 = 0,29$, [diallèle III] : $h^2 = 0,35$), (A-VII-2).

Au niveau des combinaisons F_1, les cas d'hétérosis positif (marqués par un astérisque) sont beaucoup plus fréquents dans les diallèles I et II que dans le diallèle III, ce qui confirme que la valeur de l'héritabilité est due à un niveau élevé de la variance d'additivité bien que l'effet de dominance soit plus important (D/A = 1,8 [diallèle I], 1,4 [diallèle III]).

La sélection pour la largeur de la fleur peut donc se faire dans deux directions :

1) la recherche de lignées à valeur propre moyenne présentant une très bonne aptitude générale à la combinaison (ex. : 254, 280, 292).

2) la recherche de lignées à valeur propre élevée et la transmettant à toute sa descendance (ex. : BP) (VII-17).

VII.4.2 longueur de l'inflorescence

Cette autre caractéristique ornementale a été aussi estimée dans les trois premiers essais diallèles (tableau VII-18). La mesure réalisée est la longueur de l'épi à la date de la chute de la première fleur ce qui caractérise la qualité maximale du produit au niveau du consommateur. Il aurait été plus intéressant de noter la taille de l'inflorescence au stade de la vente ; mais ce critère variant selon les marchés et les époques n'a pu être retenu.

La moyenne de l'ensemble des vingt deux lignées des trois essais diallèles est de 29,2 cm, la moyenne des lignées issues de la première sélection convergente (diallèle III) ne différant pas significativement de celle des lignées issues de la sélection généalogique directe (diallèle I et II). Ceci corrobore les jugements réalisés au cours des sélections généalogiques et notés qualitativement.

VII-16. HEREDITE DE LA LARGEUR DE LA FLEUR DANS LES CROISEMENTS DIALLELES (en cm)

DIALLELE I

	249	259	282	408	416
249	2,3	3,3 *	3,2 *	3,0	3,0 *
259		3,1	3,4 *	3,5 *	3,0
282			2,9	3,2 *	3,1 *
408				3,1	2,9
416					2,7

* combinaisons F_1 présentant un effet d'hétérosis positif

DIALLELE II

	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254	3,1	3,7 *	3,8 *	3,5 *	3,7 *	3,5 *	3,3 *	3,3 *
280	3,1	3,5 *	3,8 *	3,4	3,3 *	3,2 *	3,4 *	
285	3,2	3,7 *	3,5 *	3,6 *	3,1	3,1		
292	3,1	3,4	3,4 *	3,8 *	3,5 *			
298	3,4	3,5 *	3,0	3,3				
400	3,0	3,2 *	3,2 *					
FA_3	3,1	3,1						
407	3,0							

DIALLELE III

	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH	3,3	3,4 *	3,4 *	3,3	3,6	3,4	3,7	3,2	3,0
BI_1	3,3	3,5 *	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	2,9	
BJ_1	3,2	3,3	3,4	3,3	3,7	3,5 *	3,1		
BJ_2	3,6	3,3	3,5	3,1	3,3	3,1			
BM	3,6	3,5	3,5	3,4	3,4				
BN_1	3,4	3,7	3,0	3,1					
BP	3,8	3,7	3,7						
BS_1	3,2	3,0							
BS_2	2,8								

VII-17. VARIATION DE LA LARGEUR DE LA FLEUR PARMI 5 LIGNEES ISSUES DE LA PREMIERE SELECTION CONVERGENTE

(de gauche à droite BG.9.21.3.15 fleur moyenne, BI_1 : 3,3 cm, BN.9.18.10.6.9 : taille comparable à BI_1, BP : 3,8, BP.1.8.12.1.14.15 : taille comparable à BP).

VII-18. HEREDITE DE LA LONGUEUR DE L'INFLORESCENCE A LA CHUTE DE LA PREMIERE FLEUR DANS LES CROISEMENTS DIALLELES (en cm)

DIALLELE I

	249	259	282	408	416
249	35,0	36,4*	34,0	31,9	40,5*
259		28,0	34,1*	34,1*	26,1
282			20,0	36,6*	34,1
408				27,5	22,0
416					37,9

* combinaison F_1 présentant un effet d'hétérosis positif

DIALLELE II

	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254	35,1	31,3	51,8*	30,8	33,9	41,3*	44,8*	34,0
280		35,9	29,2	25,5	37,6*	23,8	31,7	26,4
285			32,4	26,4	37,1*	21,9	30,6	31,4
292				31,6	31,9*	31,3	30,8	25,6
298					29,7	25,8	33,8*	38,4*
400						23,6	31,1*	32,6*
FA_3							30,6	27,9
407								26,2

DIALLELE III

	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH	21,9	27,7	32,6*	32,4*	26,8*	23,6*	35,0*	36,2*	39,2*
BI_1		33,3	28,8	32,7	31,7	29,3	40,7*	42,6*	41,1*
BJ_1			29,6	32,8*	25,6	33,4*	36,4*	33,2*	39,0*
BJ_2				26,5	39,7*	34,8*	47,1*	32,2*	44,4*
BM					18,1	30,1*	27,7	39,2*	38,5*
BN_1						22,9	30,5	40,1*	42,2*
BP							31,8	31,0	34,5*
BS_1								32,1	39,0*
BS_2									33,1

VII-19. HEREDITE DE LA DENSITE FLORALE DANS LES CROISEMENTS DIALLELES

DIALLELE I

	249	259	282	408	416
249	1,1	1,2*	1,3*	1,1	1,2
259	1,0	1,1*	1,0	1,2	
282	1,0	1,0	1,3*		
408	0,9	1,4*			
416	1,2				

* combinaison F_1 présentant un effet d'hétérosis positif

° combinaison F_1 présentant un effet d'hétérosis négatif

DIALLELE II

	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254	0,8	1,3*	1,1*	0,9*	1,0	0,8	0,8	0,9
280	1,0	1,1*	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1*	
285	1,0	1,0	0,8°	1,0	0,7	0,9		
292	0,8	0,9	1,0	0,8	1,1*			
298	1,0	0,9°	0,7	0,8°				
400	1,2	1,0	1,1					
FA_3	0,7	0,8						
407	0,9							

DIALLELE III

	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH	0,9	1,1*	1,0*	0,8°	1,1	1,1	0,9	0,7°	0,7°
BI_1	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	0,7°	0,7°	0,7°	
BJ_1	0,9	0,9	1,0	0,8°	0,8°	0,8	0,7°		
BJ_2	0,9	0,7°	1,0	0,8°	0,8	0,6°			
BM	1,1	1,0°	1,0	0,7°	0,8				
BN_1	1,1	0,9	0,8	0,7°					
BP	0,9	0,8	0,8						
BS_1	0,8	0,6°							
BS_2	0,8								

Par contre, les cas d'hétérosis positif sont fréquents : 57 % des combinaisons F_1. Ceci se confirme par une héritabilité au sens étroit moyenne (h^2 = 0,24 [diallèle I], 0,22 [diallèle III]) et un rapport dominance à additivité élevé (D/A = 3,2 [diallèle I], 3,6 [diallèle III] (A-VII-3)).

La sélection pour la longueur de l'inflorescence doit donc être basée sur la recherche de lignées à bonne aptitude à la combinaison quelle que soit leur valeur propre pour ce caractère.

VII.4.3 densité de l'inflorescence

Outre la longueur de l'inflorescence, nous avons dénombré les fleurs épanouies à la date de la chute du premier fleuron pour caractériser par la densité la qualité ornementale de l'épi (tableau VII-19).

$$\text{densité florale} = \frac{\text{nombre de fleurs épanouies}}{\text{longueur de l'inflorescence}} .$$

Cette valeur qui exprime le nombre de fleurs par centimètre d'axe floral reste proportionnelle au cours de l'épanouissement.

La moyenne générale des vingt-deux lignées entrant dans les trois essais diallèles est 0,94. La variation observée est analogue quelle que soit la voie de diversification originelle.

Les combinaisons F_1 montrent 43 % de cas d'hétérosis positif (accroissement de la densité) ou négatif (diminution) : ce qui se traduit par un rapport dominance à additivité élevé et une héritabilité moyenne (A-VII-4) :

Diallèle I	D/A = 3,8	Diallèle III	D/A = 3,3
	h^2 = 0,21		h^2 = 0,23

Le comportement de ce caractère est donc pratiquement le même que la longueur de l'inflorescence qui en est d'ailleurs une composante. Toutefois, la densité qui apparaît être la meilleure doit être voisine de 1,1. Une densité trop forte déterminant une grappe trop compacte alors qu'une densité plus faible conduit à une inflorescence trop lâche. Il est évident, d'autre part, que l'aspect de l'inflorescence est aussi modifiée par la taille de la fleur, l'angle que fait le pédoncule avec l'axe de l'inflorescence, l'angle du pédoncule et de l'axe de la fleu etc... (VII-20).

Pour obtenir des hybrides F_1 de bonne densité, il est, en conséquence, possible de choisir deux voies :

1) la recherche d'une bonne aptitude en combinaison quelque soient les valeurs propres des lignées.

2) la recherche de lignées à valeur propre voisines de 1,1 ou supérieures, susceptibles de donner un maximum de combinaisons équilibrées (les cas d'hétérosis négatif paraissant dans les diallèles, et en pratique, plus fréquents que les cas d'hétérosis positif).

VII-20. INCIDENCE DE LA DENSITE SUR L'ASPECT DE L'INFLORESCENCE

lignée 259 (bronze)	densité 1,0 trop forte	à gauche : 259 x 408	densité 1,0 (bronze)
		à droite : 259 x 416	densité 1,2 (rose)

VIII - EFFET COMPARE DES QUATRE VOIES DE DIVERSIFICATION. SYNTHESE DES RESULTATS DES ESSAIS DIALLELES.

Les données et une première analyse numérique des essais diallèles ont été présentées au chapitre précédent. Rappelons que :

- les diallèles I et II comparent des lignées issues de la sélection généalogique directe
- les diallèles III et IV des lignées issues de la première sélection convergente (croisements à 2, 3 et 4 voies au niveau I_0) de la sélection généalogique directe
- le diallèle V des lignées de la deuxième sélection convergente (croisements au niveau I_2) de la sélection généalogique directe
- le diallèle VI des lignées de la troisième sélection convergente (brassage panmictique au niveau I_3) de la sélection généalogique directe.

Une analyse plus poussée permet d'établir une comparaison à cet ultime niveau entre les voies de diversification. Toutefois, les conclusions et les comparaisons, que nous en tirons, sont limitées par deux contraintes :

1) le pool génique qui est à l'origine de chacune des voies, s'il est issu d'une même collection originelle (I_0 de la sélection généalogique directe) est toutefois différent en raison du :

   - choix phénotypique qui a été réalisé selon différents critères (cf. paragraphe V-1-2, 3 et 4) pour limiter le nombre des croisements à réaliser au départ de chaque sélection convergente.
   - nombre de cycles (sélection phénotypique + autofécondation) appliqués antérieurement aux différentes sélections convergentes.

   Cette première contrainte existait déjà dans les comparaisons précédentes.

2) la méthode de HAYMAN ne permet pas d'extrapoler les résultats à l'ensemble d'où sont tirées les lignées entrées dans l'essai diallèle. L'analyse ne vaut que pour les seules lignées comparées.

Le tableau VIII-1 regroupe les valeurs des composants génétiques déjà calculées au chapitre précédent (additivité, dominance et interaction). Il présente, en outre, les estimations, d'après l'analyse diallèle de :

. u, v : fréquences des parents présentant à l'état homozygote des allèles positifs ou négatifs vis-à-vis de l'expression du caractère étudié. L'estimation des valeurs u et v suppose l'homozygotie totale tout au moins des loci concernés (condition imposée pour le modèle mathématique de HAYMAN). Les valeurs u et v donnent donc une indication sur la répartition moyenne des allèles déterminant la hauteur ou la floraison parmi les lignées étudiées dans chaque diallèle.

. k_D, k_R : l'indication précédente est complétée par l'estimation du rapport k_D à k_R, c'est-à-dire du nombre d'allèles dominants au nombre d'allèles récessifs dans l'ensemble des lignées parentales. La non-concordance entre les valeurs u et v d'une part, et k_D et k_R d'autre part, exprime le fait que les allèles positifs sont et dominants et récessifs et vice versa.

VIII-1. RECAPITULATION DE L'ANALYSE DES ESSAIS DIALLELES

		sél. gén. directe		1ère sél. convergente			2ème sél. con.	3ème sél. con.
		diallèle I	diallèle II	diallèle III	diallèle IV	diallèle V	diallèle VI	
	n nbre de lignées	5	8	9	6	9	7	
HAUTEUR	A additivité	176,30 ± 18,40	361,63 ± 12,45	176,29 ± 28,41	168,18 ± 35,20	168,14 ± 25,15	152,20 ± 28,50	
	D dominance	292,14 ± 52,35	335,07 ± 29,50	312,69 ± 64,41	359,94 ± 93,26	287,86 ± 57,00	268,08 ± 71,11	
	D/A	1,66	0,93	1,77	2,14	1,71	1,76	
	A - D	- 115,84 ± 44,16	26,56 ± 24,56	- 136,40 ± 53,28	- 191,76 ± 78,48	- 119,72 ± 47,14	- 115,88 ± 59,56	
	I interaction	- 117,10 ± 45,96	- 133,14 ± 29,40	17,66 ± 66,29	39,08 ± 86,00	49,92 ± 58,64	115,20 ± 50,43	
	u.v	0,24	0,23	0,22	0,16	0,22	0,22	
		u = 0,6 v = 0,4	u = 0,6 v = 0,4	u = 0,7 v = 0,3	u = 0,8 v = 0,2	u = 0,7 v = 0,3	u = 0,7 v = 0,3	
	k_D/k_R	0,59	0,68	1,08	1,17	1,26	1,80	
		$k_R > k_D$	$k_R > k_D$	$k_R \equiv k_D$	$k_R < k_D$	$k_R < k_D$	$k_R < k_D$	
	h^2 héritabilité au sens étroit	0,30	0,44	0,36	0,32	0,37	0,28	
FLORAISON	A additivité	105,75 ± 10,60	487,67 ± 54,06	255,03 ± 37,89	145,46 ± 14,39	42,71 ± 10,05	85,57 ± 26,03	
	D dominance	139,66 ± 30,14	343,08 ± 128,12	495,11 ± 85,93	121,70 ± 38,12	91,91 ± 22,81	176,01 ± 64,93	
	D/A	1,32	0,70	1,94	0,84	2,15	2,06	
	A - D	- 33,90 ± 25,44	144,59 ± 106,68	- 203,44 ± 71,09	23,76 ± 32,08	- 49,20 ± 18,87	- 90,44 ± 54,39	
	I interaction	98,64 ± 26,48	481,98 ± 127,71	344,46 ± 88,43	89,52 ± 35,16	43,70 ± 23,48	- 23,34 ± 46,04	
	u.v	0,24	0,14	0,17	0,18	0,38	0,23	
		u = 0,6 v = 0,4	u = 0,8 v = 0,2	u = 0,8 v = 0,2	u = 0,8 v = 0,2		u = 0,6 v = 0,4	
	k_D/k_R	2,37	3,87	3,30	2,01	2,07	0,83	
		$k_R < k_D$	$k_R < k_D$	$k_R < k_D$	$k_R < k_D$	$k_R < k_D$	$k_R > k_D$	
	h^2 héritabilité au sens étroit	0,31	0,37	0,23	0,41	0,24	0,33	

u : fréquence des parents présentant des allèles positifs à l'état homozygote
v : " " " " " " négatifs " " "
k_D : nombre d'allèles dominants chez les parents
k_R : " " récessifs " " "

$$h^2 = \frac{A}{A + D + |I|}$$

. h^2 : héritabilité au sens étroit. L'estimation est réalisée selon le calcul proposé par D.W. CRUMPACKER et R.W. ALLARD :

$$h^2 = \frac{1/4\ A}{1/4\ A + 1/4\ D + 1/4\ |I| + E}$$

dans lequel E est la variance due au milieu. En l'absence de répétition de l'essai diallèle, celle-ci ne peut être évaluée et reste une composante des autres variances. Dès lors, on utilisera :

$$h^2 = \frac{A}{A + D + |I|}$$

qui donne une valeur approchée de l'héritabilité.

Un modèle d'interprétation applicable à chacun des essais diallèles est décrit dans le paragraphe suivant. Afin de permettre des comparaisons, les résultats seront regroupés selon chacun des deux caractères analysés pour l'ensemble des voies de diversification.

VIII.1 MODELE D'INTERPRETATION DES ESSAIS DIALLELES

VIII.1.1 la représentation graphique Wr = f(Vr)

(1). Une fois vérifié, l'alignement des points (Vr, Wr) selon la valeur du coefficient de corrélation qui doit être voisine de 1, le calcul de l'équation de la droite de régression s'accompagne d'un test pour juger de la pente qui doit être égale à 1. La satisfaction de ces deux conditions permet de juger de la conformité à ce stade aux conditions posées par HAYMAN pour la résolution de son modèle mathématique :

- diploïdie de l'espèce
- réciprocité des croisements
- homozygotie des parents
- distribution aléatoire des gènes parmi les parents
- indépendance d'action des gènes
- absence de multi-allélisme.

En effet, seules les deux premières conditions peuvent être vérifiées à priori. Les autres ne le seront qu'à postériori en fonction de l'absence de distorsions dans l'analyse diallèle.

(11). La disposition des points (Vr, Wr) le long de la droite et à l'intérieur de la parabole $Wr^2 = VoVr$ renseigne sur la composition des lignées parentales puisqu'aux plus faibles valeurs (Vr, Wr) correspondent les lignées présentant un maximum de gènes dominants, à l'opposé les plus fortes valeurs (Vr, Wr) correspondent aux lignées présentant un maximum de gènes récessifs (A-VIII-1). Les cas extrêmes possibles sont les intersections de la droite et de la parabole.

Les lignées parentales présentant autant de loci à l'état dominant et à l'état récessif se situent sur la parallèle à l'axe des abscisses distante de 1/2 Vo. Cette droite coupe la parabole $Wr^2 = VoVr$ au point de tangence de la parallèle à la première bissectrice.

La composition des autres parents peut être calculée en effectuant le rapport de la distance du point (Vr, Wr) à la parabole à la longueur totale de la corde. Ainsi, selon les différentes positions que peut prendre la droite de régression peuvent être tracé les lieux géométriques des points les plus caractéristiques

(111). La position de la droite de régression par rapport à l'axe des ordonnées donne une estimation de l'importance des effets de dominance par rapport aux effets d'additivité (A-VIII-1). Ainsi, le rapport :

$\frac{LM}{OL}$ est égal à $\frac{D}{A}$

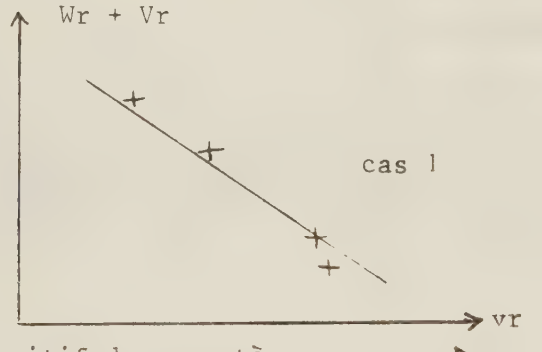
D = variance due aux effets de dominance
A = variance due aux effets d'additivité

Le graphique A-VIII-2 présente différents cas de figures rencontrables.

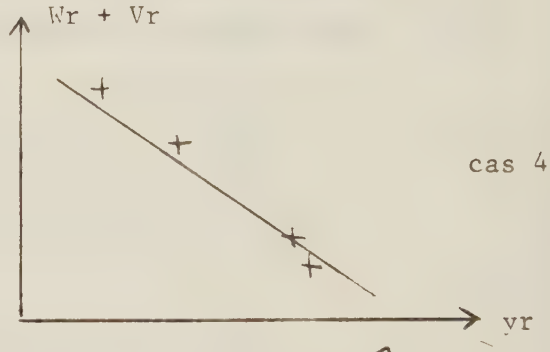
VIII.1.2 la représentation graphique Wr + Vr = f(yr)

Cette autre représentation graphique nous renseigne sur le rôle des allèles dominants et celui des allèles récessifs dans l'expression du caractère analysé. En effet, les valeurs Wr + Vr nous indiquent la composition des lignées alors que leur valeur propre (yr) nous permet de déterminer le sens positif d'évolution de ce caractère (VIII-2).

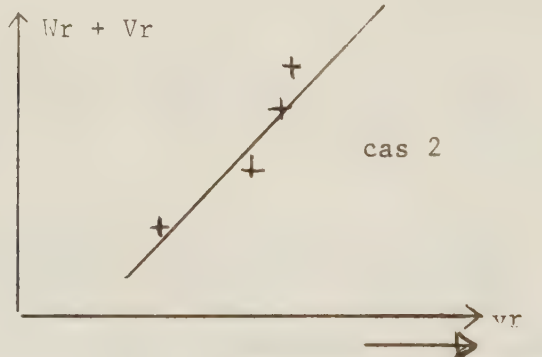
VII-2. DIFFERENTS CAS DE REPRESENTATION GRAPHIQUE Wr + Vr = f(yr)
(D : dominants, R : récessifs)



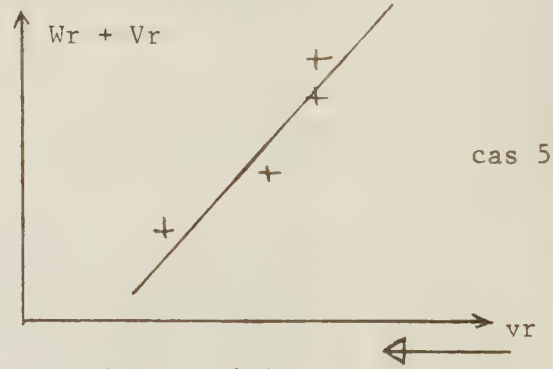
sens positif du caractère →
conclusion : effet positif des allèles D
effet négatif des allèles R



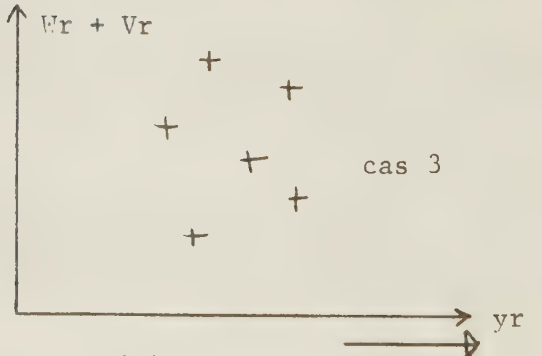
effet négatif des allèles D
effet positif des allèles R



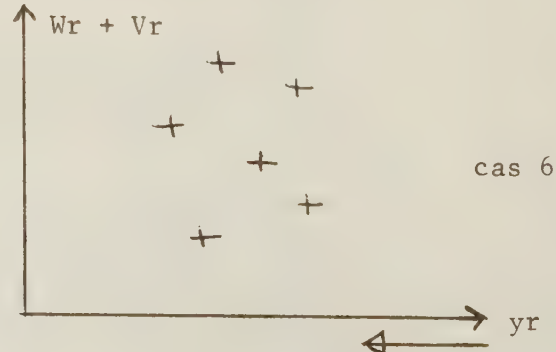
effet négatif des allèles D
effet positif des allèles R



effet positif des allèles D
effet négatif des allèles R



allèles D, allèles R :
effets positifs et négatifs



allèles D, allèles R :
effets positifs et négatifs

De l'examen des deux graphiques, on peut donc déduire la valeur en hybridation de chacune des lignées selon sa composition génique et le sens d'évolution du caractère.

VIII.1.3 les composantes génétiques de la variation

Chaque tableau diallèle permet d'évaluer les variances dues aux effets additifs, de dominance et d'interaction pour le caractère analysé parmi les lignées y entrant. Plus que la valeur absolue de chacune de ces composantes, c'est leurs valeurs relatives les unes par rapport aux autres qui apparaît déterminante de l'existence de ces effets et de leur importance (héritabilité au sens étroit en particulier).

La variance additive détermine le degré de ressemblance entre individus apparentés et permet de mesurer la réponse à la sélection puisqu'elle correspond à la partie héritable (D.S. FALCONER - 1974). Elle représente le potentiel génétique des lignées homozygotes.

La variance de la dominance mesure le potentiel génétique des individus hétérozygotes par rapport aux homozygotes.

La variance d'interaction exprime la variation due aux effets d'épistasie entre allèles dès lors que le caractère analysé met en jeu au moins deux gènes.

VIII.1.4 les aptitudes à la combinaison

En calculant la moyenne des valeurs obtenues pour les (n - 1) croisements réalisés pour un parent constant, on établit la valeur en combinaison de ce parent par rapport à l'ensemble des lignées étudiées dans le diallèle. Ceci permet d'établir un classement des lignées pour leur aptitude générale à la combinaison (A.G.C.) (Y. DEMARLY - 1977).

Pour donner plus de signification à ce classement, on peut estimer une erreur standard moyenne à partir de la moyenne de tous les écarts-types de l'ensemble des lignées étudiées en diallèle :

floraison	écart-type	$\sigma x = 4,1$
	écart-type de la moyenne	$\sigma \bar{x} = 1,0$
	erreur standard de la moyenne	$e.s.\bar{x} = 2,0$
hauteur	écart-type	$\sigma y = 6,9$
	écart-type de la moyenne	$\sigma \bar{y} = 1,8$
	erreur standard de la moyenne	$e.s.\bar{y} = 3,5$

Un autre classement pourra être établi pour l'aptitude spécifique à la combinaison (A.S.C.) en se basant sur la valeur individuelle de chaque croisement. Ainsi, l'aptitude spécifique à la combinaison de la lignée 1 croisée par la lignée 2 sera calculée de la manière suivante :

VIII-3. HAUTEUR : CLASSEMENT DES LIGNEES PARENTALES SELON LE DIALLELE ET LEUR COMPOSITION EN FONCTION DE LEUR POSITION SUR LA DROITE DE REGRESSION (D = gènes dominants , R = gènes récessifs)

composition / diallèle	D : 100-90 % R : 0-10 %	D : 90-75 % R : 10-25 %	D : 75-55 % R : 25-45 %	D : 50±5 % R : 50±5 %	D : 45-25 % R : 55-75 %	D : 25-10 % R : 75-90 %	D : 10- 0 % R : 90-100 %
diallèle I	-	259	249 416	408	-	282	-
diallèle II	-	280	400	292	254 407	285 298 FA_3	-
diallèle III	-	-	BJ_1 BJ_2 BN_1 BP BS_1	BM BS_2	BI_1	BH	-
diallèle IV	-	BJ_2	BR	BI_2 BJ_4	BN_2 BJ_3	-	-
diallèle V	-	-	AG AI AR_1 AR_2 AV_1 AV_2	-	AE BB BE	-	-
diallèle VI	-	P 250-2 P 290 P 298	P 241 P 266	P 292	P 250-1	-	-

VIII-4. HAUTEUR : COMPARAISON DES ANALYSES DIALLELES

	diallèle I	diallèle II	diallèle III	diallèle IV	diallèle V	diallèle VI
régression (Vr, Wr) :						
coeff. de corrélation r	0,99	0,99	0,86	0,92	0,90	0,87
test de conformité	12,15	17,19	4,46	4,69	5,46	3,95
(Hypothèse r = 0)	S.	S.	S.	S.	S.	S.
alignement des points	+	+	+	+	+	+
pente	0,84	0,99	0,90	0,86	0,79	1,07
test de déviation par	2,05	0,02	0,25	0,30	0,64	0,13
rapport à 1	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
LM/OL	1,27	0,91	1,55	1,75	1,20	1,91
D/A	1,66	0,93	1,77	2,14	1,71	1,76
conclusion	superdominance	dominance complète	superdominance	superdominance	superdominance	superdominance
corrélation (Wr + Vr, yr)						
coeff. de corrélation r	0,73	0,57	0,68	0,29	0,95	0,85
test de conformité	1,85	1,70	2,46	0,60	7,76	3,58
(Hypothèse r = 0)	N.S.	N.S.	S.	N.S.	H.S.	H.S.
conclusion	cas 3	cas 3	cas 2	cas 3	cas 1	cas 1
composantes génétiques						
$A/A + D + \|I\| = h^2$	30,1 %	43,6 %	36,0 %	31,8 %	36,9 %	28,4 %
$D/A + D + \|I\|$	49,9 %	40,4 %	64,0 %	68,2 %	63,1 %	50,1 %
$I/A + D + \|I\|$	20,0 %	16,0 %	-	-	-	21,5 %

$$A.S.C_{1 \times 2} = 2 \times \text{valeur croisement}_{1 \times 2} - A.G.C_1 - A.G.C_2$$

$A.G.C_1$: aptitude générale à la combinaison de la lignée 1

$A.G.C_2$: aptitude générale à la combinaison de la lignée 2

Si l'on additionne chacune des aptitudes spécifiques à la combinaison otbenues à partir des différents croisements réalisées pour un parent constant, on pourra préciser le classement réalisé à partir des aptitudes générales à la combinaison puisque les premières sont une composante de ces dernières. Des regroupement pourront être réalisés en tenant compte de l'erreur standard suivante :

floraison — écart-type de l'A.S.C. = $2 (\sigma_x^2 + \sigma_{\bar{x}}^2) = 6,0$

erreur standard correspondante = 11,7

hauteur — écart-type de l'A.S.C. = $2 (\sigma_y^2 + \sigma_{\bar{y}}^2) = 10,1$

erreur standard correspondante = 19,8

VIII.2 RECAPITULATION DES RESULTATS DES ANALYSES DIALLELE

VIII.2.1 la hauteur

L'ensemble des résultats est présenté dans les tableaux VIII-3, VIII-4, VIII-5 et VIII-6.

. La représentation graphique Wr = f(Vr)

Le tableau VIII-4 montre la signification du coefficient de corrélation et permet de conclure à l'alignement des points (Vr, Wr) dans tous les cas. En outre, les pentes mesurées des droites de régression ne diffèrent en aucun cas de 1, ce qui prouve sur ce point la conformité aux conditions de HAYMAN.

Le tableau VIII-3 figure la composition des lignées en allèles dominants et en allèles récessifs selon chacun des essais diallèles. Ceci complète l'idée déjà donnée par le rapport k_D/k_R (VIII-1).

La position de la droite par rapport à la première bissectrice mesurée par le rapport LM/OL et contrôlée par le calcul D/A (VIII-4) nous rappelle que l'hétérozygotie s'exprime sous forme de superdominance exception faite du diallèle II (paragraphe VII-3-3).

. La représentation graphique Wr + Vr = f(yr)

Le calcul du coefficient de corrélation Wr + Vr = f(yr) (VIII-4) permet d'établir s'il existe ou non une relation linéaire entre ces données. En effet, le test de conformité nous permet de conclure sur la signification de la corrélation.

Dans le cas de la hauteur, le sens positif du caractère s'exprime par des valeurs croissantes de yr, donc :

	diallèle I	diallèle II	diallèle III	diallèle IV	diallèle V	diallèle VI
aptitudes générales à la combinaison (moyenne d'un parent constant sans sa valeur propre)	249 112,6 259 110,3 282 105,6 408 109,9 416 102,6	254 88,0 280 103,8 285 95,3 292 104,9 298 82,6 400 109,3 407 108,0 FA_3 87,4	BH 96,3 BI_1 98,4 BJ_1 88,1 BJ_2 87,5 BM 94,5 BN_1 96,5 BP 90,9 BS_1 81,5 BS_2 79,7	BI_2 94,8 BJ_2 83,6 BJ_3 93,9 BJ4 106,2 BN_2 95,8 BR 103,9	AE 104,8 AG 108,9 AI 109,1 AR_1 108,8 AR_2 110,4 AV_1 113,8 AV_2 106,3 BB 103,7 BE 94,4	P 241 99,0 P 250-1 93,8 P 250-2 96,6 P 266 102,8 P 290 102,5 P 292 97,6 P 298 100,8
classement : regroupements selon l'aptitude générale à la combinaison (e.s.$\bar{y}$ = 3,5)	(249 259 408) (282 416)	(400 407) (280 292) (285) (254 FA_3) (298)	(BH BI_1 BM BN_1) (BJ_1 BJ_2 BP) (BS_1 BS_2)	(BJ_4 BR) (BI_2 BJ_3 BN_2) (BJ_2)	(AV_1) (AG AI AR_1 AR_2 AV_2) (AE BB) (BE)	(P 241 P 266 P 290 P 298) (P 250-1 P 250-2 P 292)
aptitudes spécifiques à la combinaison (additionnées par parent constant)	249 + 22,2 259 + 9,9 282 - 12,8 408 + 8,5 416 - 27,6	254 - 74,7 280 + 50,9 285 - 16,9 292 + 59,5 298 - 118,3 400 + 95,1 407 + 85,3 FA_3 - 79,5	BH + 53,9 BI_1 + 72,6 BJ_1 - 20,9 BJ_2 - 10,1 BM + 37,5 BN_1 + 55,9 BP + 21,3 BS_1 - 80,3 BS_2 - 96,3	BI_2 - 9,0 BJ_2 - 77,0 BJ_3 - 14,8 BJ_4 + 58,6 BN_2 - 3,2 BR + 45,4	AE - 16,8 AG + 20,7 AI + 21,3 AR_1 + 18,8 AR_2 + 33,0 AV_1 + 63,8 AV_2 - 3,7 BB - 27,5 BE - 110,4	P 241 + 0,1 P 250-1 - 36,1 P 250-2 - 16,7 P 266 + 26,3 P 290 + 24,0 P 292 - 9,3 P 298 + 33,3
classement : regroupements selon l'aptitude spécifique à la combinaison (e.s. = 19,8)	(249 259 408) (282 416)	(400 407) (280 292) (285) (254 FA_3) (298)	(BI_1) (BH BN_1) (BM BP) (BJ_1 BJ_2) (BS_1 BS_2)	(BJ_4 BR) (BI_2 BJ_3 BN_2) (BJ_2)	(AV_1) (AG AI AR_1 AR_2) (AV_2) (AE BB) (BE)	(P 266 P 290 P 298) (P 241) (P 250-2 P 292) (P 250-1)

VIII-6. VALEURS DE L'APTITUDE SPECIFIQUE A LA COMBINAISON (A.S.C.)

$(ASC_{1x2} = 2 \times \text{valeur}_{1x2} - AGC_1 - AGC_2)$

DIALLELE I

FLORAISON ↓ — HAUTEUR →

	249	259	282	408	416
249		+ 7,1	+ 1,0	+ 27,3	- 13,2
259	+ 8,0		+ 1,5	+ 1,8	+ 0,5
282	- 2,9	- 0,3		- 10,5	- 4,8
408	+ 11,3	+ 4,5	- 13,2		- 10,1
416	- 5,9	+ 5,3	- 8,8	+ 2,0	

DIALLELE II

FLORAISON ↓ — HAUTEUR →

	254	280	285	292	298	400	FA_3	407
254		+ 6,0	- 27,5	- 2,3	- 27,0	- 11,7	- 25,8	+ 13,6
280	- 0,9		+ 16,7	+ 1,5	+ 2,2	+ 0,9	+ 9,6	+ 14,0
285	- 19,3	+ 12,8		+ 15,4	- 33,3	+ 31,2	- 25,7	+ 6,3
292	+ 3,8	+ 7,5	+ 6,1		- 1,3	+ 25,4	- 10,1	+ 30,9
298	+ 2,6	- 11,9	- 20,1	- 6,6		+ 1,5	- 38,6	- 21,8
400	+ 8,0	- 0,5	+ 1,3	- 1,8	+ 12,8		+ 8,3	+ 39,5
FA_3	- 15,2	- 2,1	- 7,7	- 6,8	- 22,2	+ 1,8		+ 2,8
407	+ 33,7	+ 8,8	+ 11,0	+ 8,7	- 9,1	+ 1,1	+ 4,9	

DIALLELE III

FLORAISON ↓ — HAUTEUR →

	BH	BI_1	BJ_1	BJ_2	BM	BN_1	BP	BS_1	BS_2
BH		+ 40,7	+ 26,2	+ 1,0	- 3,0	+ 28,8	- 5,8	- 7,0	- 27,0
BI_1	+ 19,5		- 12,9	+ 6,3	+ 31,3	+ 25,9	- 8,1	- 11,7	+ 1,1
BJ_1	+ 3,6	+ 14,3		- 6,2	+ 34,4	- 31,4	- 5,2	- 10,8	- 15,0
BJ_2	- 6,5	- 2,8	+ 0,7		- 17,2	+ 9,6	+ 21,8	- 2,4	- 23,0
BM	+ 9,2	+ 4,7	+ 20,0	- 18,5		- 5,2	+ 9,4	- 16,2	+ 4,0
BN_1	+ 27,8	+ 9,5	- 30,2	+ 40,5	- 6,4		+ 7,0	+ 7,0	+ 14,2
BP	+ 1,5	- 41,0	- 10,9	- 13,4	+ 18,5	+ 9,3		+ 6,8	- 4,6
BS_1	- 0,7	- 8,8	- 7,7	+ 2,6	- 15,1	+ 0,1	+ 18,4		- 46,0
BS_2	- 3,9	- 3,0	- 13,5	- 14,6	- 0,5	- 2,9	+ 17,2	- 16,4	

VIII-6 (suite)

DIALLELE IV

→ HAUTEUR

FLORAISON ↓

	BI_2	BJ_2	BJ_3	BJ_4	BN_2	BR
BI_2		- 16,0	- 12,5	+ 25,0	- 12,8	+ 7,3
BJ_2	- 14,9		- 32,5	- 6,8	- 10,4	- 11,3
BJ_3	+ 3,4	- 9,5		+ 24,9	- 4,5	+ 9,8
BJ_4	+ 7,5	- 4,8	+ 3,7		+ 0,2	+ 15,3
BN_2	- 4,9	- 14,2	- 6,3	+ 5,6		+ 24,3
BR	+ 6,1	+ 9,4	+ 6,5	- 0,8	+ 13,4	

DIALLELE V

→ HAUTEUR

FLORAISON ↓

	AE	AG	AI	AR_1	AR_2	AV_1	AV_2	BB	BE
AE		+ 2,9	- 0,1	+ 7,8	+ 11,8	- 4,4	- 5,5	- 1,7	- 27,6
AG	+ 8,6		+ 2,2	+ 12,5	+ 12,5	+ 14,1	- 5,4	- 1,0	- 17,1
AI	- 6,8	- 3,4		+ 11,3	+ 4,7	+ 20,5	- 1,4	- 15,4	- 0,5
AR_1	+ 4,9	+ 0,3	+ 3,5		- 6,8	+ 7,4	+ 1,7	+ 0,7	- 15,8
AR_2	+ 16,1	+ 6,9	- 10,5	- 2,4		+ 12,6	+ 8,7	- 10,1	- 0,4
AV_1	- 15,2	+ 3,4	+ 2,6	- 4,9	+ 9,5		+ 10,7	+ 10,5	- 7,6
AV_2	+ 12,9	- 5,1	- 6,3	+ 4,4	+ 5,4	+ 19,1		+ 9,2	- 21,7
BB	+ 6,2	+ 2,8	- 2,6	+ 2,3	+ 3,3	- 3,6	- 3,7		- 19,7
BE	- 8,2	- 4,6	- 9,8	- 4,9	- 0,9	- 5,6	- 6,9	- 6,6	

DIALLELE VI

	P 241	P 250-1	P 250-2	P 266	P 290	P 292	P 298
P 241		- 12,8	+ 10,8	+ 19,0	- 14,5	- 19,4	+ 17,0
P 250-1	- 2,5		- 8,4	+ 8,2	+ 0,9	- 19,2	- 4,8
P 250-2	+ 12,4	- 15,1		- 25,8	+ 7,3	- 8,2	+ 7,6
P 266	+ 1,1	- 4,4	+ 24,7		+ 20,7	+ 7,2	- 3,0
P 290	- 14,0	- 12,5	- 11,2	+ 14,5		+ 11,7	- 2,1
P 292	- 11,8	- 6,7	- 13,4	- 3,1	+ 8,6		+ 18,6
P 298	+ 1,3	- 6,0	+ 24,1	+ 13,0	+ 4,9	- 4,7	

- l'absence de corrélation correspond au cas 3 (diallèles I, II et IV)
- la pente positive de la droite correspond au cas 2 (diallèle III)
- la pente négative de la droite correspond au cas 1 (diallèles V et VI).

L'existence des trois cas prouve, qu'en ce qui concerne ce caractère, des allèles dominants et des allèles récessifs peuvent avoir un effet positif. Les différences observées selon les essais diallèles reflètent la présence ou l'absence de certains de ces allèles dans les lignées parentales. Ceci s'exprimait déjà à travers la constance des valeurs u et v (VIII-1) alors que k_D et k_R variaient sensiblement selon les diallèles.

. Les composantes génétiques de la variation

Le tableau VIII-1 nous révèle, en valeur absolue, une constance dans la valeur de la variance due à l'additivité (exception faite du diallèle II) il en est de même pour la valeur de la variance due à la dominance. Ceci compte tenu des différences de constitution des lignées selon les diallèle que nous venons de voir, nous incite à penser que les effets individuels au niveau allélique sont de même ordre.

Les effets d'interaction sont, eux, variables selon le diallèle, ainsi :

- les diallèles I et II présentent une valeur de la variance due à l'interaction élevée et négative
- alors que les variances d'interaction sont nulles pour les diallèles III, IV et V
- le diallèle VI présente une valeur de la variance aussi élevée qu'en I et II mais positive.

L'importance de l'interaction est imputable à des effets d'épistasie d'une part, mais aussi au fait que la variance environnementale n'a pu en être dissociée.

En valeur relative (VIII- 4) en particulier au niveau de l'héritabilité (h^2), on retrouve la constance des composantes exceptions faite du diallèle II. Pour ce diallèle, on a déjà noté ceci par l'existence d'une dominance complète à la différence de la superdominance mise en évidence par ailleurs ; une explication peut être trouvée dans la composition des lignées (VIII- 3) puisque c'est le seul cas où la majorité des lignées du diallèle présente plus de 55 % d'allèles récessifs.

L'existence pour ce caractère, d'environ 34 % d'additivité contre 66 % d'effet intra et inter-loci laisse penser qu'une sélection pour l'aptitude à la combinaison aurait dû être plus efficace qu'une sélection pour la valeur propre, dans l'hypothèse où l'une et l'autre auraient été réalisées.

. Les aptitudes à la combinaison

Le classement qui est ainsi réalisé et présenté aux tableaux VIII-5 et VIII-6 est déterminant pour la création variétale, le choix des lignées et la recherche d'autres combinaisons hybrides F_1 de valeur élevée (VIII-7).

Le niveau moyen de l'additivité par rapport aux autres effets géniques, se retrouve dans le fait que les plus fortes aptitudes spécifiques à la combinaison ne se situent pas systématiquement dans le croisement des deux lignées ayant les meilleures aptitudes générales à la combinaison.

VIII-7. VARIATION DE LA HAUTEUR

au centre	lignée 249	$\bar{y}$ = 103,7 cm (blanc)		à gauche	407 x 400	$\bar{y}$ = 128,5 (magenta)
à droite	249 x 282	$\bar{y}$ = 111,6 cm (magenta)		à droite	407 x FA_3	$\bar{y}$ = 101,1 (mauve)
					lignée BH	$\bar{y}$ = 96,5 (blanc)

VIII-8. FLORAISON : CLASSEMENT DES LIGNEES PARENTALES SELON LE DIALLELE ET LEUR COMPOSITION EN FONCTION DE LEUR POSITION SUR LA DROITE DE REGRESSION

(D = gènes dominants, R = gènes récessifs)

composition / diallèle	D : 100-90 % R : 0-10 %	D : 90-75 % R : 10-25 %	D : 75-55 % R : 25-45 %	D : 50±5 % R : 50±5 %	D : 45-25 % R : 55-75 %	D : 25-10 % R : 75-90 %	D : 10- 0 % R : 90-100 %
diallèle I	259	-	249 282 408 416	-	-	-	-
diallèle II	280 400 407	285 292 FA_3	298	-	254	-	-
diallèle III	BS_2	BJ_1 EM BN_1	BH BI_1 BJ_2 BP	-	BS_1	-	-
diallèle IV	BJ_4	BJ_2	BI_2 BJ_3 BN_2	BR	-	-	-
diallèle V	BE	AI BB	AE AG AR_1 AR_2	AV_1 AV_2	-	-	-
diallèle VI	P 250-1	P 292	P 241	-	P 290 P 298	P 250-2 P 266	-

VIII.2.2 la floraison

Les résultats concernant ce caractère sont récapitulés dans les tableaux VIII-6, VIII-8, VIII-9 et VIII-10.

. La représentation graphique Wr = f(Vr)

Le calcul des coefficients de corrélation (VIII-9) conduit à des valeurs élevées, preuve de la liaison entre Vr et Wr. L'alignement des points (Vr, Wr) est révélé par la signification de tous les tests de conformité (hypothèse coefficient de corrélation nul).

Les pentes calculées varient de façon importante (de 0,56 à 0,95) sans toutefois différer significativement de 1.

Les compositions géniques des lignées figurées au tableau VIII-8 nous montrent dans tous les diallèles sauf le VI que la majorité des lignées présente un taux plus élevé de gènes dominants que de gènes récessifs. Ceci s'exprime aussi dans les valeurs des rapports k_D/k_R (VIII-1).

Ainsi que nous l'avions noté précédemment (paragraphe VII-3-3) les effets de dominance se manifestent différemment selon les diallèles puisque par la construction graphique et le calcul du rapport D/A (VIII-9), on observe :

- un cas de dominance partielle (diallèle II)
- un cas de dominance complète (diallèle IV)
- quatre cas de superdominance (diallèles I, III, V et VI)

. La représentation graphique Wr + Vr = f(yr)

Le calcul du coefficient de corrélation (Wr + Vr, yr) et du test de conformité (VIII-9), nous montre l'existence d'une relation linéaire entre ces deux variables dans trois diallèles.

Dans le cas de la floraison, le sens positif du caractère va de pair avec les valeurs décroissantes de yr, donc :

- l'absence de corrélation correspond au cas 6 (diallèles I, II et V)
- l'existence de la corrélation et d'une pente de la droite de régression positive correspond au cas 5 (diallèles III, IV et VI).

Comme pour la hauteur, l'existence du cas 6 montre que des allèles dominants comme des allèles récessifs jouent un rôle positif (précocité) ou un rôle négatif (tardivité). Ceci explique que malgré un nombre d'allèles dominants (k_D) supérieur au nombre moyen d'allèles récessifs (k_R) dans les cinq premières diallèles, on observe des valeurs de u et de v très différentes (VIII-1).

. Les composantes génétiques de la variation

Les valeurs absolues des variances dues à l'additivité et à la dominance (VIII-1) sont variables selon les essais diallèles. Ceci peut être lié au fait que, malgré une composition assez analogue en allèles dominants

VIII-9. FLORAISON : COMPARAISON DES ANALYSES DIALLELES

	diallèle I	diallèle II	diallèle III	diallèle IV	diallèle V	diallèle VI
régression (Vr, Wr) :						
coeff. de corrélation r	0,89	0,93	0,89	0,88	0,87	0,93
test de conformité	3,38	6,20	5,16	3,70	4,67	5,66
(Hypothèse r = 0)	S.	S.	S.	S.	S.	S.
alignement des points	+	+	+	+	+	+
pente	0,82	0,95	0,91	0,70	0,56	0,72
test de déviation par	0,31	0,12	0,23	0,93	1,80	0,81
rapport à 1	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
LM/OL	1,08	0,68	1,78	0,49	1,22	1,12
D/A	1,32	0,70	1,94	0,84	2,15	2,06
conclusion	superdominance	dominance partielle	superdominance	dominance complète	superdominance	superdominance
corrélation (Wr + Vr, yr)						
coeff. de corrélation r	0,26	0,61	0,72	0,88	0,42	0,88
test de conformité	0,47	1,88	2,73	3,74	1,23	18,24
(Hypothèse r = 0)	N.S.	N.S.	S.	S.	N.S.	H.S.
conclusion	cas 6	cas 6	cas 5	cas 5	cas 6	cas 5
composantes génétiques						
$A/A + D + \|I\| = h^2$	30,7 %	37,1 %	23,3 %	40,8 %	24,0 %	32,7 %
$D/A + D + \|I\|$	40,6 %	26,2 %	45,2 %	34,1 %	51,5 %	67,3 %
$I/A + D + \|I\|$	28,7 %	36,7 %	31,5 %	25,1 %	24,5 %	-

diallèle I		diallèle II		diallèle III		diallèle IV		diallèle V		diallèle VI	
aptitudes générales à la combinaison (moyenne d'un parent constant sans sa valeur propre)											
249	168,0	254	159,2	BH	160,6	BI_2	161,6	AE	158,1	P 241	149,9
259	169,4	280	159,3	BI_1	154,1	BJ_2	156,3	AG	156,9	P 250-1	145,2
282	160,9	285	155,7	BJ_1	152,2	BJ_3	161,6	AI	152,3	P 250-2	154,9
408	166,9	292	159,0	BJ_2	153,5	BJ_4	163,9	AR_1	156,4	P 266	158,6
416	164,5	298	150,8	BM	156,2	BN_2	160,9	AR_2	159,0	P 290	150,5
		400	160,4	BN_1	160,2	BR	167,7	AV_1	156,5	P 292	147,5
		407	165,1	BP	154,9			AV_2	158,2	P 298	156,6
		FA_3	151,8	BS_1	151,9			BB	155,7		
				BS_2	150,7			BE	150,7		
classement : regroupements selon l'aptitude générale à la combinaison (e.s.$\bar{x}$ = 2,0)											
282		298 FA_3		BJ_1 BJ_2 BS_1 BS_2		BJ_2		AI BE		P 250-1	
416		285				BI_2 BJ_3 BJ_4 BN_2		AG AR_1 AV_1 BB		P 292	
249 259 408		254 280 400 292		BI_1 BM BP BJ_2						P 241 P 290	
						BR		AE AR_2 AV_2		P 250-2 P 298	
		407		BH BN_1						P 266	
aptitudes spécifiques à la combinaison (additionnées par parent constant)											
249	+ 10,5	254	+ 10,0	BH	+ 50,5	BI_2	- 2,8	AE	+ 18,5	P 241	- 13,5
259	+ 17,5	280	+ 11,0	BI_1	- 27,1	BJ_2	- 34,0	AG	+ 8,9	P 250-1	- 47,2
282	- 25,2	285	- 17,5	BJ_1	- 25,7	BJ_3	- 2,2	AI	- 33,3	P 250-2	+ 21,5
408	+ 4,6	292	+ 8,2	BJ_2	- 14,0	BJ_4	+ 11,2	AR_1	+ 3,2	P 266	+ 45,8
416	- 7,4	298	- 57,2	BM	+ 9,9	BN_2	- 6,4	AR_2	+ 27,4	P 290	- 9,7
		400	+ 22,7	BN_1	+ 47,7	BR	+ 34,6	AV_1	+ 5,3	P 292	- 31,1
		407	+ 56,4	BP	- 0,4			AV_2	+ 19,8	P 298	+ 32,6
		FA_3	- 50,0	BS_1	- 29,6			BB	- 1,9		
				BS_2	- 39,6			BE	- 47,5		
classement : regroupements selon l'aptitude spécifique à la combinaison (e.s. = 11,7)											
282		298 FA_3		BS_2		BJ_2		BE		P 250-1	
416		285		BI_1 BJ_1 BS_1		BI_2 BJ_3 BN_2		AI		P 292	
249 408		254 280 292		BJ_2 BP		BJ_4		AG AR_1 AV_1 BB		P 241 P 290	
259		400		BM		BR		AE AR_2 AV_2		P 250-2 P 298	
		407		BH BN_1						P 266	

et en allèles récessifs, les lignées parentales présentent selon les essai des compositions variables en allèles positifs et négatifs. Cela peut aussi être le fait d'effets géniques individuels variables selon les loci.

Les variances dues à l'interaction sont elles aussi variables selon les essais mais restent de grandeur comparable à l'additivité et toujours positives pour les cinq premiers diallèles. Le diallèle VI présente seul une variance d'interaction non significative. Les valeurs élevées et positives mesurées pour l'interaction conduisent à supposer l'existence de linkage entre les gènes déterminant la floraison. Cette hypothèse non évoquée précédemment expliquerait en partie les résultats obtenus en fin de sélection généalogique et qui étaient moins favorables que ceux notés pour la hauteur (chapitre VI). Le fait qu'un effet de linkage soit mis en évidence dans des hybrides F_1 est plausible compte tenu du taux d'hétérozygotie résiduelle dans les lignées du diallèle selon le niveau d'i breeding atteint (de I_4 à I_7) ; ce taux pouvant être encore plus élevé du fait du linkage.

Pour étudier les effets d'épistasie, il aurait été déterminant de réaliser une génération F_2 dans les diallèles (B.I. HAYMAN - 1958). Ceci n'a pu être fait en raison de la limitation de place et de temps. Toutefois, pour le diallèle II, nous avons observé durant les jours courts 1974-1975, une descendance F_2 par F_1 analysée. L'effectif retenu (15 plantes par lot) ne permet pas une recherche du linkage , nous avons choisi de regrouper toutes les F_2 ayant un parent commun et de comparer leur distribution à celle des autres lignées parentales afin de discerner la marque imputable au parent constant. Dans l'hypothèse d'un linkage, nous devrions retrouver un excès de phénotypes correspondant au parent constant. Le graphique VIII- 11 qui présente les distributions phénotypiques en fréquences cumulées montre que, en ce qui concerne la hauteur, les représentations à parent constant (298 : parent le plus petit, 400 : parent le plus élevé) sont analogues à celle de l'ensemble des lignées parentales. Pour la floraison (VII-12), les distributions à parent constant sont marquées par celui-ci :

- 298 : parent le plus précoce : on observe en F_2 un excès de phénotypes précoces (courbe en pointillé nettement au-dessus courbe en trait plein)
- 407 : parent le plus tardif après 254 : un excès de phénotypes tardifs se manifeste par un brusque redressement de la courbe après l'infléchissement marqué entre 170 et 174 j.u.. Ceci se traduit nettement dans les valeurs des fréquences (A-VIII- 3).

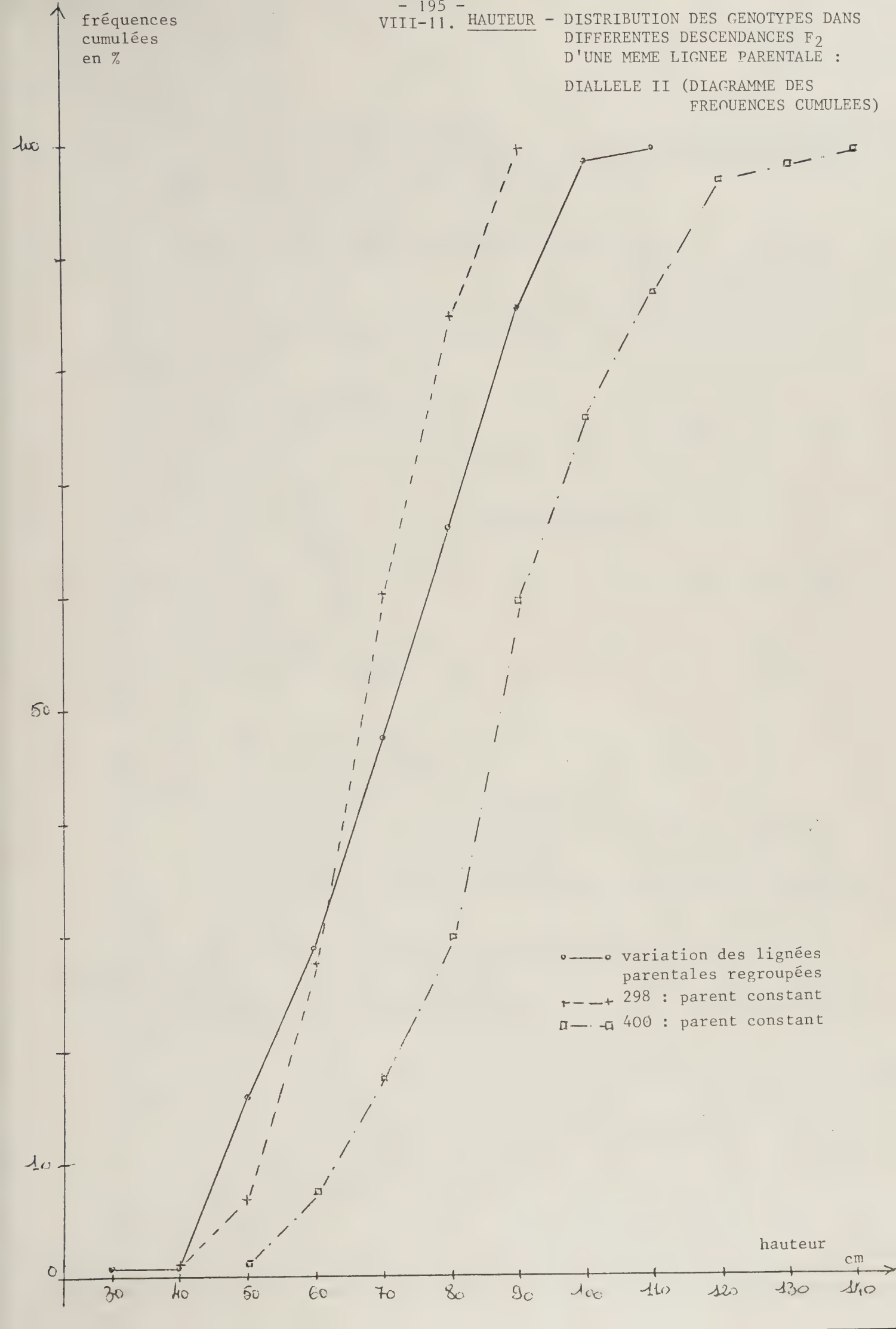
Ainsi, alors que les déterminismes de la hauteur et de la floraison sont comparables (rôle positif d'allèles dominants et d'allèles récessifs, niveau élevé de la dominance et de l'épistasie), les différences que nous venons d'observer doivent être imputées à une expression différente des effets d'épistasie et en l'occurrence à la manifestation d'un linkage en ce qui concerne la floraison.

En valeur relative (VIII- 9), on retrouve les variations importantes des effets géniques d'un diallèle à l'autre. D'autre part, on note la chute importante de l'héritabilité par rapport à celle mesurée en I_1 (tableau VI- 4). Ce phénomène peut s'expliquer aussi par l'effet du linkage qui rendant rares certaines combinaisons, peut diminuer la variance d'additivité et par là la valeur de l'héritabilité au sens étroit. Ceci est aussi le fait de l'accroissement de la variance de dominance en liaison avec l'homozygotisation des lignées et la réalisation d'hybrides F_1.

L'importance relative de l'effet d'interaction permet de justifier l'intérêt des voies de diversification que nous avons appliquées. D'autre part, comme pour la hauteur, l'existence d'un effet important de dominance prouve qu'il serait déterminant, dans ce cas, de comparer à la sélection pour la valeur propre une sélection pour l'aptitude à la combinaison.

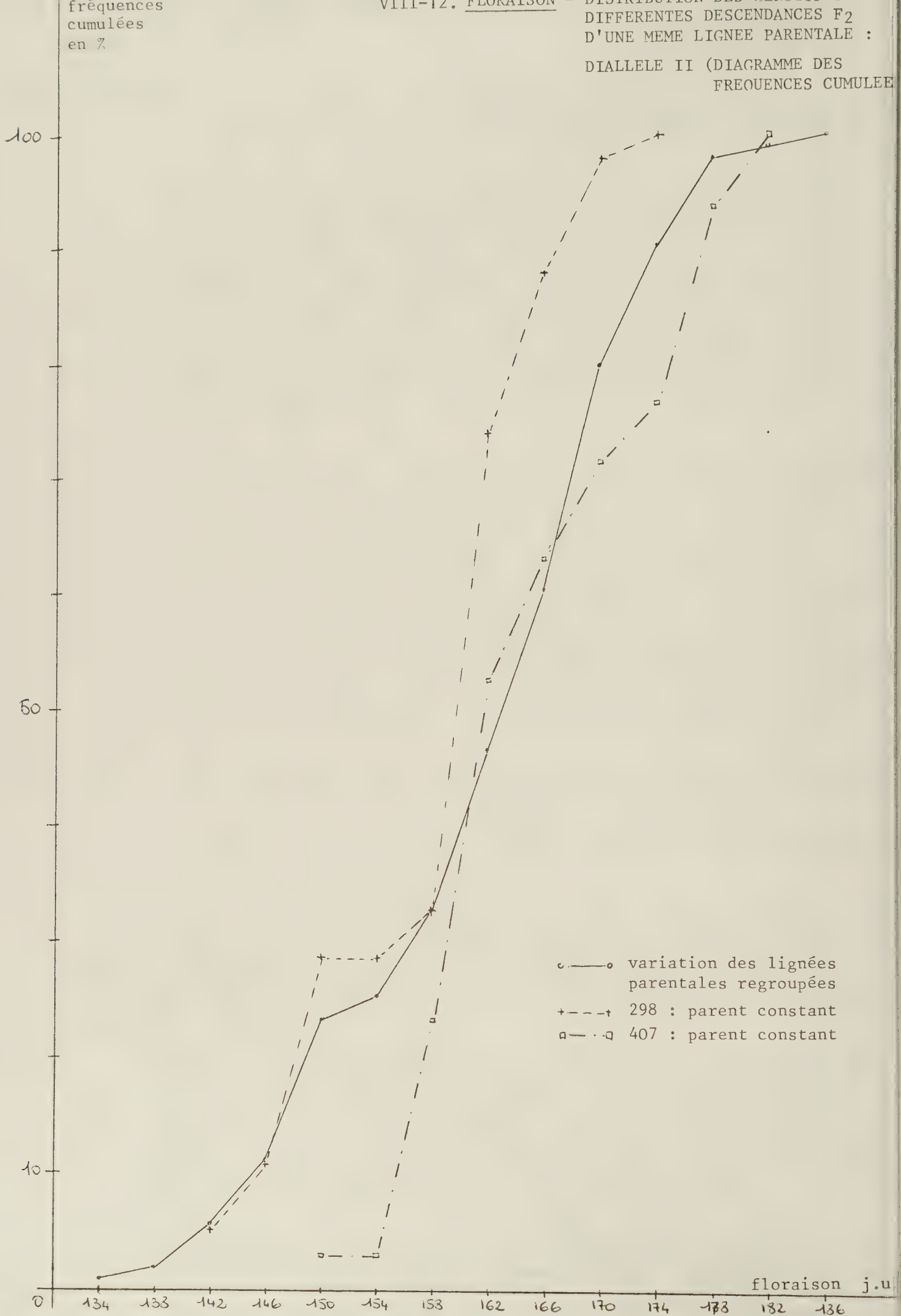
VIII-11. HAUTEUR - DISTRIBUTION DES GENOTYPES DANS DIFFERENTES DESCENDANCES F_2 D'UNE MEME LIGNEE PARENTALE :

DIALLELE II (DIAGRAMME DES FREQUENCES CUMULEES)



DISTRIBUTION DES VALEURS DE DIFFERENTES DESCENDANCES F_2 D'UNE MEME LIGNEE PARENTALE :

DIALLELE II (DIAGRAMME DES FREQUENCES CUMULEES)



. Les aptitudes à la combinaison

Les aptitudes générales et spécifiques à la combinaison notées dans les essais diallèles permettent d'établir un classement des lignées en vue de leur utilisation en création variétale.

La planche VIII-13 montre la différence d'aspects de l'inflorescence entre la lignée et une combinaison hybride F_1 observées à la même date.

VIII.3 COMPARAISON DES VOIES DE DIVERSIFICATION

VIII.3.1 la hauteur

. Sélection généalogique directe :

Les analyses VII-4 et VII-5 montrent que parmi les lignées étudiées :

- les allèles récessifs sont plus fréquents que les allèles dominants (k_D/k_R),
- l'effet positif des gènes (augmentation de la taille) est du à des allèles dominants et à des allèles récessifs (graphique Wr + Vr = f (vr))
- toutefois, le classement selon les aptitudes à la combinaison laisse apparaître une supériorité des hybrides réalisés à partir des lignées présentant une majorité d'allèles dominants,
- le classement selon la valeur propre coïncide avec le classement selon les aptitudes à la combinaison, ce qui est lié à l'importance de l'additivité et à l'existence d'une interaction négative dans les diallèles I et II.

. Première sélection convergente :

Des analyses VII- 6 et VII-7 il ressort que :

- dans le diallèle III où les allèles dominants et récessifs sont en nombre comparable, les allèles récessifs montrent un rôle positif.
- dans le diallèle IV où les allèles dominants sont plus fréquents que les allèles récessifs, on retrouve un rôle positif parmi les deux types d'allèles.
- la composition des lignées est moins variable et la majorité d'entre elles se situe entre 55 et 75 % d'allèles dominants.
- le classement selon la valeur propre ne coïncide plus avec le classement selon les aptitudes à la combinaison, reflétant un effet de dominance plus important.

. Deuxième sélection convergente :

Un seul diallèle correspond à cette voie et l'analyse VII-8 montre que :

- les allèles dominants sont plus fréquents que les allèles récessifs.
- les allèles dominants jouent un rôle positif dans l'expression de la valeur propre.
- le classement pour les aptitudes à la combinaison prouve aussi le rôle positif des allèles dominants à niveau hybride F_1.

VIII-13. ASPECTS DE L'INFLORESCENCE (23/12/73)

combinaison F_1 249 x 416
(rose pâle)

lignée 249 (+ 17 j.u. en moyenne)
(blanc)

- le classement des lignées pour la valeur propre diffère aussi de celui établi pour la valeur en combinaison, l'importance de la dominance étant soulignée par la valeur élevée du rapport D/A.

. Troisième sélection convergente :

Le diallèle VI analysé en VII-9 témoigne que, pour les lignées qui y sont étudiées :

- un rapport maximum du nombre d'allèles dominants au nombre d'allèles récessifs est mis en évidence.
- les allèles dominants ont un rôle positif tant dans l'expression de la valeur propre que dans celle de la valeur en combinaison.
- à la différence du diallèle V, le plus grand nombre de lignées retenues présentent de 75 % à 90 % d'allèles dominants contre 55 à 75 % pour la deuxième sélection convergente.
- on note dans ce cas aussi des différences entre le classement pour la valeur propre et le classement pour les aptitudes en combinaison.

En conclusion pour ce caractère, qui a été peu sélectionné, on observe des différences marquées pour les lignées étudiées selon la voie de diversification dont elles sont issues. Le nombre des lignées expérimentées étant réduit du fait de la lourdeur des diallèles, il est bien sûr difficile d'extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble du matériel issu de chacune des voies originelles.

Cependant, il apparaît que si on compare les résultats à ce niveau :

+ la sélection la plus positive, pour la voie de création retenue, s'est faite en application de la troisième sélection convergente puisque l'on trouve parmi les lignées :

  . un rôle positif des allèles dominants

  . un nombre maximum d'allèles dominants

  . la majorité d'entre elles a plus de 75 % d'allèles dominants.

+ ensuite, sur le plan de l'efficacité, se situe la deuxième sélection convergente puisque les données sont comparables, mais le niveau des lignées est inférieur (les lignées sont constituées d'au plus 75 % d'allèles dominants).

+ la première sélection convergente qui révèle un rôle plus important des allèles récessifs n'a pas permis la sélection d'un nombre important de lignées favorables.

+ enfin, la sélection généalogique directe qui, tout en manifestant un rôle plus favorable des allèles dominants en combinaison, a conduit à retenir des lignées à majorité d'allèles récessifs. Ceci du fait qu'allèles dominants et allèles récessifs concourent positivement à la valeur propre de la lignée est plus vraisemblablement le fait du pool génique de départ que de la sélection généalogique qui lui a été appliqué.

VIII.3.2 floraison

. Sélection généalogique directe :

Les analyses diallèles I et II (VII- 10 et VII- 11) peuvent être résumées de la façon suivante :

- les lignées présentent un excès d'allèles dominants ($k_D/k_R \gg 1$).
- les allèles dominants comme les allèles récessifs ont un rôle positif (précocité : diminution du temps de floraison).
- le classement pour les aptitudes à la combinaison montre aussi un rôle positif des deux types alléliques.
- les classements pour la valeur propre et les valeurs en combinaison diffèrent, prouvant le niveau limite des effets d'additivité par rapport aux effets de dominance et d'interaction.

. Première sélection convergente :

Les analyses VII-12 et VII-13 mettent en évidence :

- dans ce cas encore, une composition majoritaire en allèles dominants.
- pour les graphiques Wr + Vr = f (yr), un rôle positif des allèles dominants pour la valeur propre des lignées.
- des différences de classement entre la composition allélique et les aptitudes à la combinaison montrant qu'au niveau F_1 des allèles récessifs ont aussi un rôle positif.
- des différences de classement entre la valeur propre et la valeur en combinaison prouvant là encore l'importance des effets d'additivité et d'interaction.

. Deuxième sélection convergente :

Le diallèle V analysé en VII-14 nous présente :

- une composition des lignées plus importante en allèles dominants qu'en allèles récessifs.
- un rôle concomitant des allèles dominants et récessifs.
- un classement pour les aptitudes à la combinaison qui privilégie le rôle des allèles dominants.
- la minimisation des effets d'additivité par rapport aux effets de dominance au niveau de la non-concordance des classements pour la valeur propre et la valeur en combinaison.

. Troisième sélection convergente :

Le tableau VII- 15 qui résume l'analyse du diallèle VI fait preuve :

- d'une composition des lignées plus importante en allèles récessifs qu'en allèles dominants ($k_D/k_R < 1$).
- d'un effet positif des allèles dominants au niveau de la valeur propre des lignées qui se retrouve aussi au niveau de leur valeur en combinaison.

- d'une coïncidence entre la classification pour les aptitudes en combinaison et pour la valeur propre que l'on peut relier à une plus grande importance de l'effet d'additivité en l'absence d'effet d'interaction.

En conclusion, pour la floraison, avec les mêmes réserves faites pour la hauteur, il apparaît que les caractéristiques lues à travers les diallèles sont bien différenciées d'une voie de diversification à l'autre.

En ce qui concerne l'efficacité comparée de la sélection selon les voies de diversification originelles, il n'apparaît pas de classement aussi marqué que dans le cas de la hauteur. On peut noter cependant que :

+ la deuxième sélection convergente paraît la plus efficace puisque 1/3 des lignées présente plus de 75 % d'allèles dominants et que ces allèles dominants jouent un rôle positif pour l'expression des aptitudes à la combinaison.

+ ensuite, on peut placer la première sélection convergente qui a permis de retenir des lignées dont la plupart présentent entre 55 et 75 % d'allèles dominants et 25 et 45 % d'allèles récessifs alors que les deux types d'allèles jouent un rôle positif tant dans l'expression de la valeur propre que des aptitudes à la combinaison.

+ la sélection généalogique directe viendrait après puisque face à des rôles analogues des allèles dominants et récessifs, la composition allélique des lignées fait état d'un excès d'allèles dominants.

+ enfin, se situerait la troisième sélection convergente pour laquelle ont été retenues une majorité de lignées présentant un excès d'allèles récessifs alors que les allèles dominants ont, dans ce cas, un effet positif pour l'expression du caractère tant au niveau des lignées que des hybrides F_1. Cette place aurait dû être précisée par une analyse portant sur un plus grand nombre de lignées.

VIII.3.3 conclusion

Il apparaît donc, pour les deux caractères analysés, une divergence dans les structures génétiques des lignées obtenues d'une voie de diversification à l'autre. Ce phénomène est inattendu à ce niveau de la sélection. Il est le fait du rôle concomitant des allèles dominants et récessifs pour l'expression de ces caractères. Il suppose, en conséquence, que les probabilités d'apparition des différents génotypes étaient très variables d'un pool génique de départ à l'autre.

Les différences structurelles à l'origine des quatre sélections généalogiques peuvent être dues :

- soit au choix et à la limitation du nombre des génotypes retenus pour constituer les I_0,
- soit à l'effet du mode de recombinaison (sélections convergentes).

Les deux ont joué, le premier effet doit cependant être minimisé puisque parmi les 43 lignées étudiées en diallèles, 7 ont au moins une origine commune analysée dans chacune des quatre voies de diversification, 16 pour trois voies, 12 pour deux voies et 8 sont particulières à une seule voie ; donc plus de la moitié des lignées sont issues d'origines communes à trois ou quatre voies analysées. L'effet du mode de recombinaison est donc loin d'être négligeable.

IX - SYNTHESE ET DISCUSSION

IX.1- LIAISON FLORAISON-HAUTEUR

Nous avons vu qu'en I_0, il existait une corrélation floraison-hauteur telle que les génotypes les plus précoces avaient la taille la plus basse, les plus tardifs la taille la plus élevée (paragraphe IV-3-4). Ainsi, les graphiques IV-13 et IV-14 montraient que pratiquement, parmi les hybrides F_1 américains ou japonais qui se sont révélés les mieux adaptés en essai de comportement, il ne se trouvait pas de génotypes très précoces (fleurissant en moins de 150 jours unités) dont la taille excède 80 cm.

La même représentation graphique de chaque phénotype pour la floraison (valeur corrigée) en fonction de la hauteur a été réalisée :

graphique IX-1 pour les diallèles I et II (sélection généalogique directe).
graphique IX-2 pour les diallèles III et IV (première sélection convergente).
graphique IX-3 pour le diallèle V (deuxième sélection convergente).
graphique IX-4 pour le diallèle VI (troisième sélection convergente).

Un premier examen permet de constater que les phénotypes très précoces sont beaucoup plus nombreux et que leur taille excède le plus souvent 80 cm :

- pour les diallèles I et II, sur un effectif total de 827 plantes notées, 395 fleurissent en moins de 150 j. u. (130 jours réels pour la campagne 69 I) soit 48 % de phénotypes très précoces. Parmi ceux-ci, 73 % mesurent plus de 80 cm. Au total, 35 % sont des phénotypes très précoces dont la taille excède 80 cm.

- pour les diallèles III et IV, nous observons 55 % de phénotypes très précoces (effectif total 1 067 individus) dont 45 % seulement dépassent 80 cm. Soit au total 25 % de plantes très précoces de plus de 80 cm.

- pour le diallèle V, 57 % des phénotypes sont très précoces et 97 % d'entre eux mesurent plus de 80 cm (effectif total 453 individus). Au total, 55 % de phénotypes très précoces de plus de 80 cm.

- pour le diallèle VI, 71 % de phénotypes très précoces (effectif total 413 individus) dont 91 % mesurant plus de 80 cm. Au total, 65 % de phénotypes très précoces dépassant 80 cm.

Il apparaît donc nettement qu'une sélection pour la vitesse de croissance a été réalisée corrélativement au choix des génotypes les mieux adaptés au crible et aussi des types unicaulis. Pour ce dernier point, nous avions en effet noté dès la I_0, dans les lots unicaulis, pour une floraison comparable aux lots ramifiés, une hauteur moyenne supérieure (paragraphe IV-3-4).

L'accroissement de la vitesse de croissance (rapport hauteur/floraison) explique aussi le gain de hauteur constaté au cours des sélections généalogiques en l'absence de sélection directe pour ce caractère.

A partir du pourcentage des génotypes très précoces parmi les hybrides F_1 réalisés en combinant certaines lignées issues de chacune des voies de diversification, on peut réaliser le classement suivant :

sens	71 % troisième sélection convergente
croissant	57 % deuxième sélection convergente
d'efficacité	55 % première sélection convergente
	48 % sélection généalogique directe

En tenant compte de la limite de 80 cm, le classement paraît encore plus significatif :

sens croissant d'efficacité	65 % troisième sélection convergente
	55 % deuxième sélection convergente
	35 % sélection généalogique directe
	25 % première sélection convergente

Il se manifeste donc, à ce stade, des différences d'efficacité remarquables selon la voie originale suivie. Toutefois, la liaison floraison-hauteur reste significative à ce niveau ainsi qu'en témoignent les coefficients de corrélation (graphiques IX-1 à 4) puisque :

. pour la sélection généalogique directe (diallèles I et II) r = 0,64

. pour la première sélection convergente (diallèles III et IV) r = 0,63

. pour la deuxième sélection convergente (diallèle V) r = 0,52

. pour la troisième sélection convergente (diallèle VI) r = 0,57

Ces quatre coefficients de corrélation sont significativement différents de 0 (cf. tests de conformité présentés avec les représentations graphiques).

L'effet de la sélection se révèle dans l'abaissement du coefficient de corrélation (en I_0, r = 0,74 pour les hybrides F_1 américains et 0,82 pour les japonais) et dans la diminution de la pente de l'axe du nuage des points (hauteur, floraison) :

- en I_0, la pente b est sensiblement égale à 1.
- en F_1, au terme de la sélection, les pentes sont respectivement :

b = 0,94 sélection généalogique directe
b = 0,81 première sélection convergente
b = 0,86 deuxième sélection convergente
b = 0,72 troisième sélection convergente

IX.2- INCIDENCE DE LA LIMITATION DES EFFECTIFS : EFFICACITE DE LA SELECTION GENEALOGIQUE

Nous avons précisé que compte tenu de la limitation de la surface d'étude et de l'importance du nombre des lots analysés, l'effectif de chaque descendance était dans la plupart des cas de 15 plantes ; les exceptions concernent les I_0 des sélections convergentes ainsi que certaines I_1 et I_2 des différentes sélections généalogiques ayant suivi les phases de convergence. Cet échantillonnage de taille limitée a eu nécessairement des conséq-ences sur l'efficacité de la sélection généalogique.

Un effectif de 15 plantes est normalement suffisant pour mener à bien une sélection généalogique dans le cas d'un caractère quantitatif à forte héritabilité à condition que le nombre de cycles réalisés (autofécondation + sélection phénotypique) soit suffisant (cf. A- IX -1). Ainsi, pour un caractère déterminé par k = cinq gènes, quatre cycles sont nécessaires pour obtenir à l'état homozygote, le génotype recherché : pour k = dix gènes, c'est un minimum sept cycles qu'il faudra réaliser.

Dans le cas de la floraison, le nombre de gènes impliqués n'est pas connu. On peut arbitrairement choisir, comme base de raisonnement, le cas théorique où k = 10 ce qui nous permettra d'établir certaines comparaisons. En effet, les deux représentations graphiques VI-10 nous rappellent que si en I_0, le groupement (écart-type) de la floraison de chaque lot varie de 5 à 25 jours unités (de 8 h 15 mn) et plus, en I_6, les limites de la variation sont 1 et 10 jours unités. Les écarts-types intra-lots ont donc diminué, du fait de la sélection généalogique, en proportion comparable à ce que l'on observe dans le schéma théorique pour dix loci.

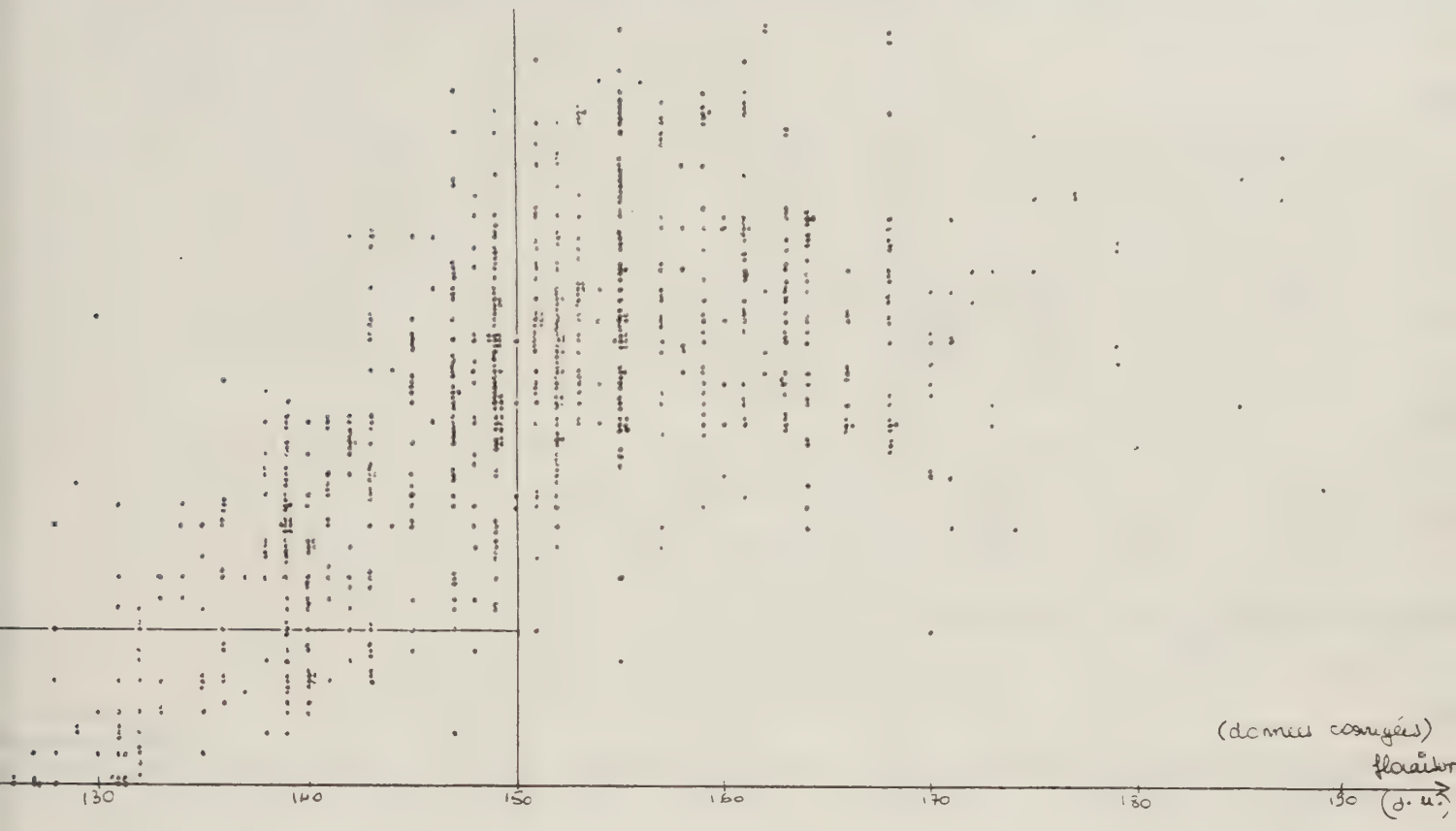
auteur (cm)

IX-1. ETUDE DE LA CORRELATION FLORAISON-HAUTEUR DANS LES DIALLELES I et II

coefficient de corrélation $r = 0,64$

test de conformité ($H : r = 0$)

$t = 23,73$ H.S. (à 314 degrés de liberté)



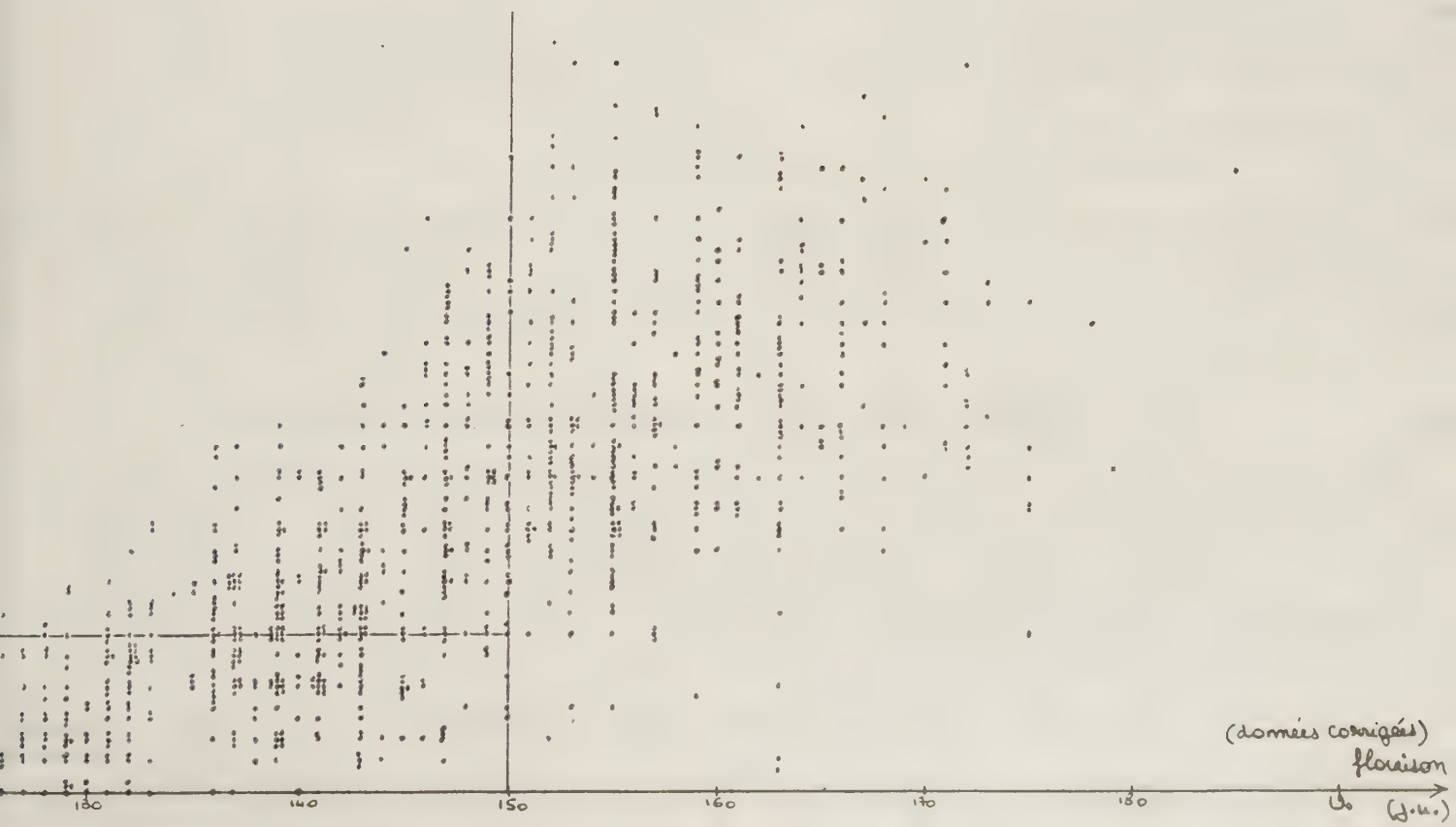
hauteur (cm)

IX-2. ETUDE DE LA CORRELATION FLORAISON-HAUTEUR DANS LES DIALLELES III et IV

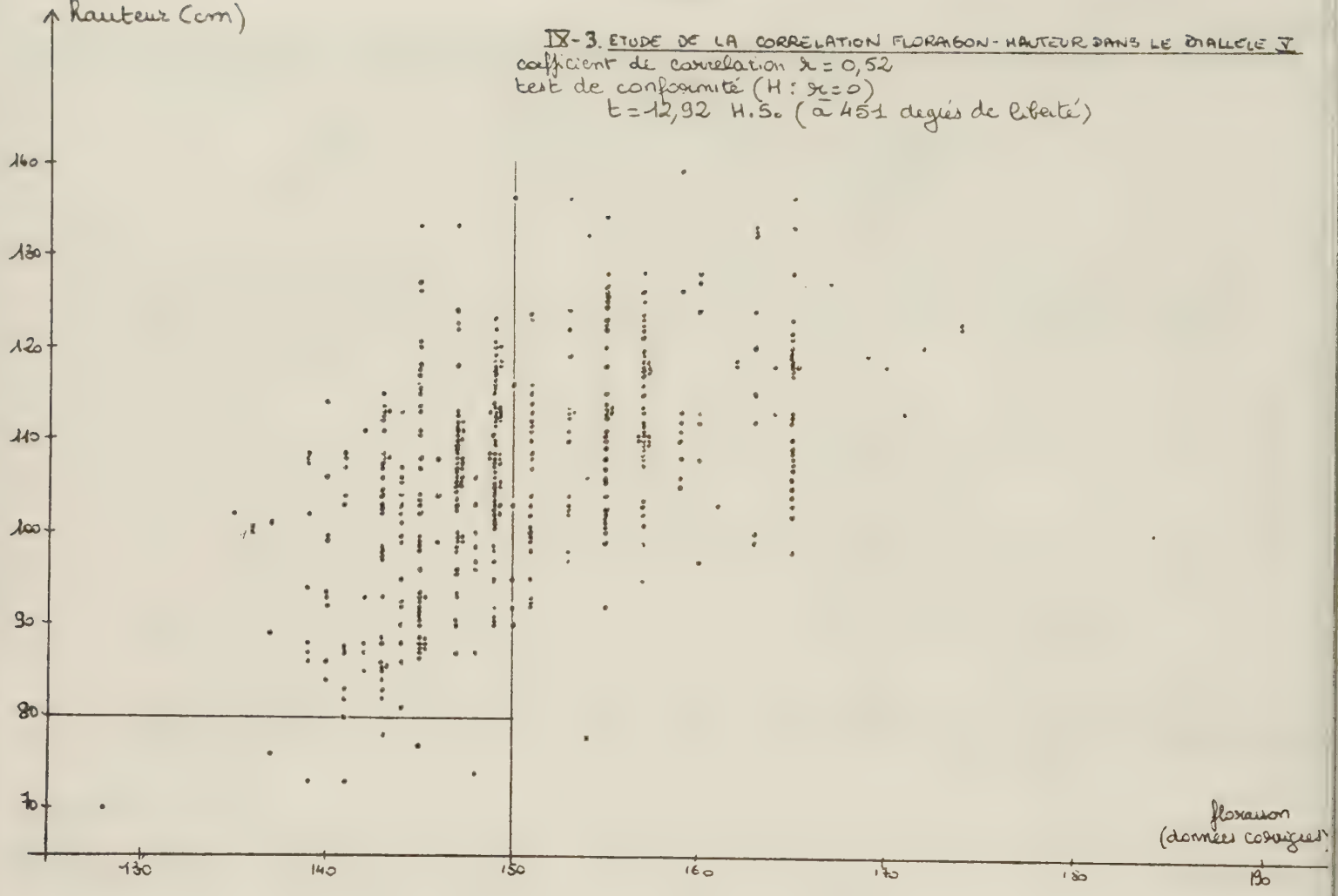
coefficient de corrélation $r = 0,63$

test de conformité ($H : r = 0$)

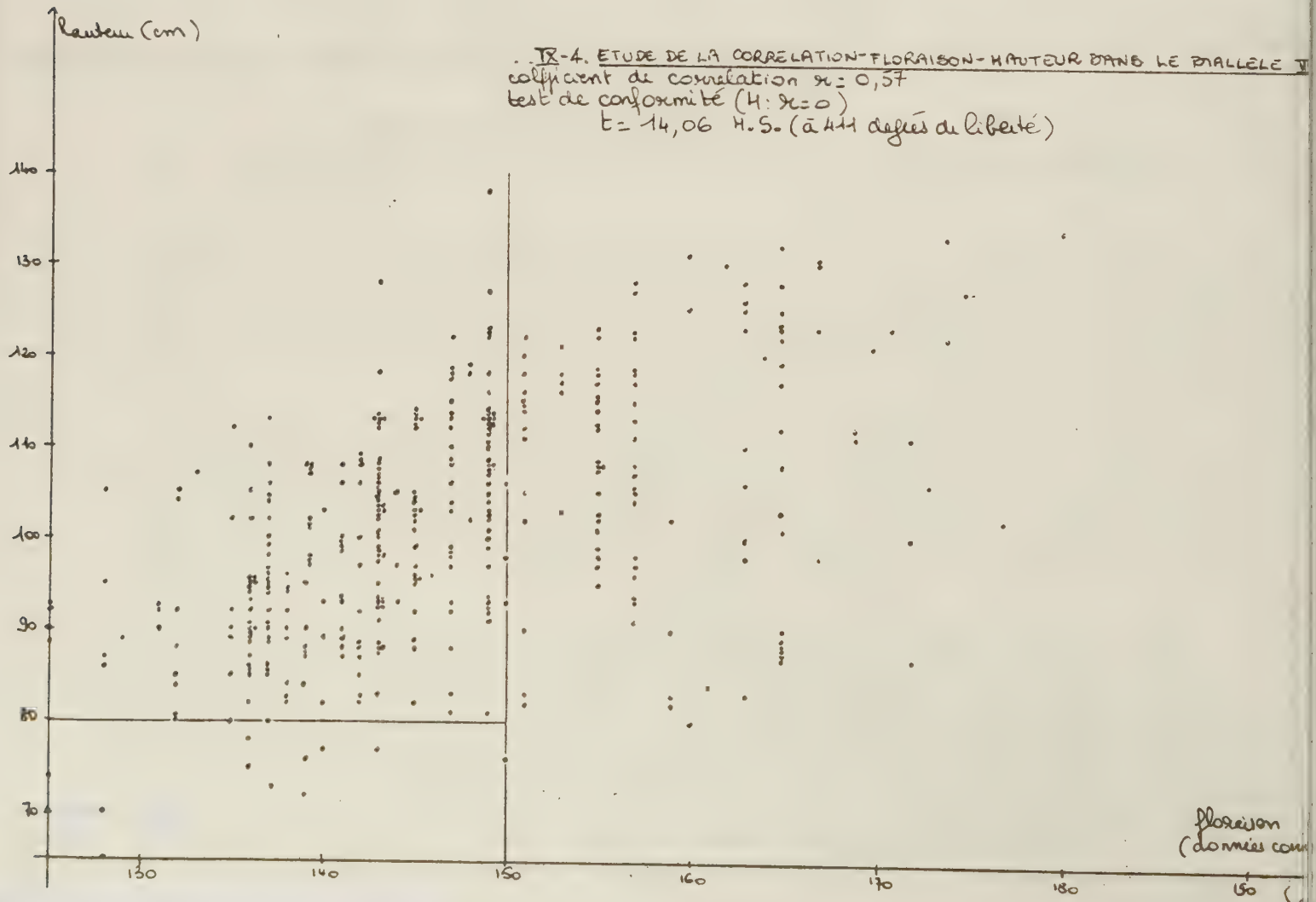
$t = 26,47$ (à 1065 degrés de liberté) H.S.



IX-3. ETUDE DE LA CORRELATION FLORAISON-HAUTEUR DANS LE DIALLELE V
coefficient de corrélation $r = 0,52$
test de conformité ($H : r = 0$)
$t = 12,92$ H.S. ($\bar{a}$ 451 degrés de liberté)



IX-4. ETUDE DE LA CORRELATION FLORAISON-HAUTEUR DANS LE DIALLELE V
coefficient de corrélation $r = 0,57$
test de conformité ($H : r = 0$)
$t = 14,06$ H.S. ($\bar{a}$ 411 degrés de liberté)



Ainsi, pour la floraison, la taille de nos échantillons peut être considérée suffisante pour la réalisation d'une sélection améliorante. Le schéma théorique (A- IX -1) est toutefois compliqué par le fait que :

1) la sélection phénotypique qui a été réalisée dans le sens de la précocité, c'est-à-dire vers les valeurs les moins élevées de la floraison a été freinée en raison d'une part, de leur liaison avec un niveau important d'hétérozygotie et d'autre part, de la recherche de la préservation d'une gamme de variabilité pour d'autres caractères (coloris, hauteur,...) (cf. paragraphe VI-3-2). Le niveau moyen d'homozygotie s'est fortement accru au cours des générations comme nous l'avons vérifié par l'évolution de l'écart-type de la floraison sans toutefois s'accompagner d'une convergence vers les phénotypes les plus précoces.

2) l'existence de linkage (cf. paragraphe VIII-2 - 2) modifie l'évolution. La réalisation de l'état homozygote pour l'arrangement allélique préférentiel est alors plus rapide que dans le schéma théorique (A- IX -1), par contre, elle est plus lente pour des arrangements alléliques recombinés. Ainsi, les génotypes les plus fréquents en I_0 correspondent au phénotype précoce (floraison comprise entre 150 et 160 jours-unités) : il est représenté par 53 % des lots. Ce même phénotype demeure le plus représenté en I_5 ou I_6 : 34 % des lignées contre 18 % pour les très précoces, 30 % pour les moyens, 14 % pour les tardifs et 4 % pour les très tardifs.

En conclusion, la sélection généalogique pour la floraison est efficace compte tenu de la limitation des effectifs et conduit à des lignées présentant un bon niveau moyen d'homozygotie en I_6 ou I_7 malgré les difficultés de sélection phénotypique.

Signalons que le risque de perte de gènes en I_2 (génération comparable à une F_3) n'est toutefois pas négligeable. Pour le calculer, nous utilisons l'expression suivante (G.VALDEYRON -1961) :

$$p = \left[\frac{1}{4} + \frac{1}{2}^{(2m+1)} \right]^n$$

p = probabilité de perte de gènes en I_2
m = effectif des lots analysés en I_2
n = nombre de plantes I_1 dont ils sont issus.

Pour l'ensemble des lignées, les quatre origines confondues, nous avons suivi en moyenne 18 plantes par lot I_2 alors que l'on avait retenu à la génération précédente 2 plantes I_2. Dans ce cas, la probabilité de perte d'un allèle récessif favorable en I_3 est de 0,06. Cette probabilité demeure proche du risque adopté (0,05).

IX.3- INCIDENCE DE LA LIMITATION DES EFFECTIFS : EFFET DE DERIVE :

La limitation des effectifs analysés a vraisemblablement introduit dans le schéma de sélection un effet de dérive non négligeable. En effet, les fréquences géniques des différents allèles déterminant le caractère sélectionné peuvent être modifiées par le seul fait de l'échantillonnage dès lors qu'il se limite à un nombre réduit d'individus. La probabilité de tirage d'un échantillon représentatif du lot à un niveau donné est restreinte, les fluctuations de part et d'autre de ces fréquences géniques étant d'autant plus importantes que la taille de l'échantillon est faible.

L'existence d'un phénomène de dérive dans le schéma de sélection a deux types de conséquences :

a) D'une génération à l'autre, l'effet de la sélection peut être confirmé, renforcé ou amoindri selon que les fréquences géniques du lot I_{n+1} seront les mêmes ou diffèreront de celles déterminées par la composition génotypique du parent I_n. Ce type de fluctuation aléatoire, et de ce fait non mesurable, dès lors que l'on considère un seul lot, est effectivement constaté au cours des sélections généalogiques ; nous avons observé, en effet, des écarts de moyennes de floraison pour un même lot d'une génération (n) à l'autre (n + 1) qui n'étaient pas couverts par la variation du lot (génération n) ni par les différences de valeur des termes correctifs (générations n et n + 1) (cf. A-VI-1, A-VI-2, A-VI-3 et A-VI-4).

b) L'effet de dérive peut supplanter l'effet de la sélection de telle sorte que la variation observée en I_6 entre les différentes lignées issues de la sélection généalogique en soit la conséquence. Dans ce cas, les différences de constitution des lignées, selon la voie de diversification originelle, mises en évidence par les essais diallèles (cf. tableaux VIII-3 et VIII-8) seraient imputables à ce seul effet.

IX.3.1 La dérive au niveau d'un lot pour une génération

Pour illustrer et mettre en évidence ce point, un exemple peut être pris parmi les lots de la sélection généalogique directe (cf. A-VI-1) :

. en I_5 le lot 278.5.12.14.10.4 présente pour la floraison une moyenne de 184.1 jours-unités et un écart-type de 5,5 (campagne 72 I)

. en I_6 le lot 278.5.12.14.10.4.2 issu du lot précédent a pour floraison moyenne 157,0 jours-unités et pour écart-type 0,1 (campagne 74 II).

La différence entre les deux moyennes est de - 27,1 jours-unités. Si on applique la correction calculée pour les différentes campagnes par rapport à la campagne 69 I (V-2), soit + 13 jours-unités, la différence est alors de - 14,1 jours-unités.

La fluctuation observée en I_5 qui est d'origine génétique et environnementale est comprise entre les limites de confiance ± 10,8 jours-unités. Ces dernières, en supposant nulle la fluctuation environnementale, correspondraient aux génotypes dont la probabilité d'apparition est la plus faible, c'est-à-dire pratiquement nulle pour des échantillons de 15 individus. Quoiqu'il en soit, la différence observée entre la I_5 et la I_6 excède ces limites. Elle est donc en partie imputable à l'effet de dérive.

IX.3.2 La dérive au niveau de l'ensemble des lots

Il est possible de juger l'effet aléatoire de la dérive sur l'ensemble des lots afin de mesurer son importance vis-à-vis de l'effet dirigé de la sélection phénotypique.

On peut établir un modèle théorique en se basant sur les hypothèses suivantes :

. k, le nombre de loci en jeu, est égal à 10
. l'effet de dérive est tel qu'il annule l'effet de sélection
. chaque génération n + 1 est le produit de l'autofécondation d'un seul individu de la génération n. Notons que ceci est par définition une S.S.D., filiation par une seule graine ou filiation unipare.

Pour permettre la comparaison par rapport aux résultats de l'analyse diallèle, c'est la composition des individus en allèles dominants et en allèles récessifs qui est suivie. Le point de départ choisi, génération I_0, est une plante hétérozygote donc présentant 10 allèles dominants (D) et 10 allèles récessifs (R) :

génération	phénotype	fréquence des allèles dominants p	probabilité de réalisation
I_0	10D/10R	0,50	1,000

La génération I_1 sera donc produite par l'autofécondation de cette plante I_0. Les probabilités de réalisation de chacun des phénotypes en I_1 sont obtenues par le développement du binôme :

$(p + q)^{2k}$ où p = fréquence des allèles dominants
q = fréquence des allèles récessifs ($q = 1 - p$)
k = 10 (nombre total de loci)

génération	phénotypes	fréquence des allèles dominants p_i	probabilité de réalisation
I_1	20D/0R	1,00	1.10^{-6}
	19D/1R	0,95	2.10^{-5}
	18D/2R	0,90	2.10^{-4}
	17D/3R	0,85	0,001
	16D/4R	0,80	0,005
	15D/5R	0,75	0,015
	14D/6R	0,70	0,037
	13D/7R	0,65	0,074
	12D/8R	0,60	0,120
	11D/9R	0,55	0,160
	10D/10R	0,50	0,176
	9D/11R	0,45	0,160
	8D/12R	0,40	0,120
	7D/13R	0,35	0,074
	6D/14R	0,30	0,037
	5D/15R	0,25	0,015
	4D/16R	0,20	0,005
	3D/17R	0,15	0,001
	2D/18R	0,10	2.10^{-4}
	1D/19R	0,05	2.10^{-5}
	0D/20R	0,00	1.10^{-6}

Pour réaliser une génération I_2, nous retenons dans chaque lot une plante I_1. Si l'effet du hasard intervient seul dans ce choix, la probabilité pour que le lot I_2 soit issu d'un phénotype donné I_1 est la probabilité de réalisation de ce phénotype en I_1. Autofécondé, ce phénotype, redonne une certaine segrégation selon le développement du binôme :

$(p_i + q_i)^{2k_i}$ où p_i = fréquence des allèles dominants dans le phénotype retenu.
q_i = fréquence des allèles récessifs dans le phénotype retenu.
k_i = nombre de loci à l'état hétérozygote dans le phénotype retenu.

Dès lors, on peut établir pour l'ensemble des phénotypes, la répartition de la population en I_2 compte tenu de leurs fréquences en I_1 et de leurs ségrégations respectives. Ce schéma ainsi poursuivi de génération en génération tient compte des matrices de reproduction de chaque phénotype (cf. A- IX -2) et des fréquences des phénotypes à la génération précédente.

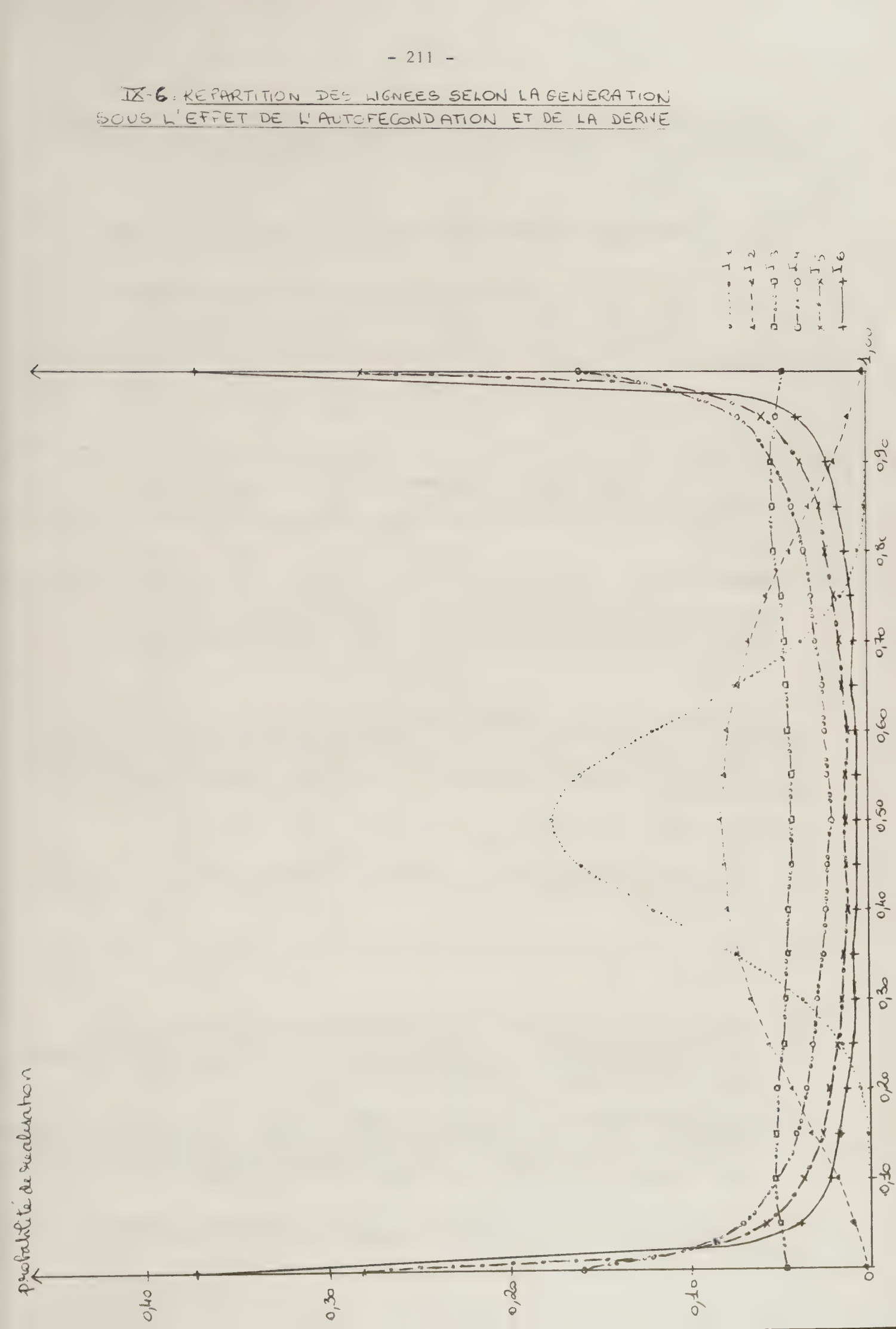
Le tableau IX-5 présente la répartition des différents phénotypes pour les générations I_2 à I_6. En l'absence d'une sélection phénotypique efficace ou plus exactement en supposant que le choix du parent, à une génération donnée pour produire la génération suivante, est seulement du au hasard, nous observerions en I_6 pour l'ensemble des lignées, une répartition du même type. En effet, tout au long de la sélection généalogique, la lignée n + 1 est issue de l'autofécondation d'une plante n donc les probabilités de réalisation des phénotypes figurées au tableau IX-5 sont aussi les probabilités de réalisation de lignées centrées sur chacun de ces phénotypes. Cette même évolution peut être représentée graphiquement (IX-6).

IX-5. EVOLUTION DES FREQUENCES PHENOTYPIQUES DE LA I_2 A LA I_6 : AUTOFECONDATION + DERIVE.

phénotypes	fréquences des allèles dominants p_i	probabilités de réalisation selon la génération				
		I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
20D/0R	1,00	0,003	0,047	0,159	0,281	0,372
19D/1R	0,95	0,010	0,050	0,071	0,058	0,039
18D/2R	0,90	0,018	0,053	0,053	0,037	0,022
17D/3R	0,85	0,032	0,052	0,041	0,026	0,016
16D/4R	0,80	0,043	0,051	0,035	0,022	0,012
15D/5R	0,75	0,056	0,048	0,031	0,018	0,009
14D/6R	0,70	0,066	0,047	0,029	0,015	0,007
13D/7R	0,65	0,073	0,045	0,025	0,014	0,008
12D/8R	0,60	0,078	0,044	0,024	0,011	0,006
11D/9R	0,55	0,080	0,042	0,022	0,012	0,006
10D/10R	0,50	0,082	0,042	0,020	0,012	0,006
9D/11R	0,45	0,080	0,042	0,022	0,012	0,006
8D/12R	0,40	0,078	0,044	0,024	0,011	0,006
7D/13R	0,35	0,073	0,045	0,025	0,014	0,008
6D/14R	0,30	0,066	0,047	0,029	0,015	0,007
5D/15R	0,25	0,056	0,048	0,031	0,018	0,009
4D/16R	0,20	0,043	0,051	0,035	0,022	0,012
3D/17R	0,15	0,032	0,052	0,041	0,026	0,016
2D/18R	0,10	0,018	0,053	0,053	0,037	0,022
1D/19R	0,05	0,010	0,050	0,071	0,058	0,039
0D/20R	0,00	0,003	0,047	0,159	0,281	0,372

Nous observons une évolution rapide puisque de la génération I_1, qui présente une répartition en cloche où les phénotypes présentant de 40 à 60 % d'allèles dominants sont en majorité, à la génération I_3 où pratiquement tous les phénotypes sont à peu près également représentés, il n'a été réalisé que deux cycles hasard + autofécondation. Dans les générations ultérieures, compte tenu de la fixation des lignées dès lors qu'on atteint le niveau 20D/0R ou 0D/20R, on note un accroissement de la fréquence des catégories extrêmes lié à une diminution des fréquences des catégories intermédiaires.

IX-6 : REPARTITION DES LIGNEES SELON LA GENERATION SOUS L'EFFET DE L'AUTOFECONDATION ET DE LA DERIVE



Si nous comparons cette répartition théorique des lignées, à celles réalisées à la suite de l'analyse diallèle pour la floraison ainsi que pour la hauteur (VIII-8 et VIII-3), nous n'observons pas de concordance (tableau IX-7).

IX-7. COMPARAISON DES COMPOSITIONS OBSERVEES ET THEORIQUE DES LIGNEES

	fréquence des lignées selon leur composition						
	D100-90% R0-10%	D90-75% R10-25%	D75-55% R25-45%	D55-45% R45-55%	D45-25% R55-75%	D25-10% R75-90%	D10-0% R90-100%
modèle théorique hasard + autofécondation (en I_6)	0,411 [0,230]•	0,050 [0,129]	0,030 [0,109]	0,018 [0,064]	0,030 [0,109]	0,050 [0,129]	0,411 [0,230]
observé pour les 6 analyses diallèles : floraison	0,182 (8)*	0,227 (10)	0,386 (17)	0,068 (3)	0,091 (4)	0,046 (2)	-
observé pour les 6 analyses diallèles : hauteur	-	0,136 (6)	0,386 (17)	0,159 (7)	0,205 (9)	0,114 (5)	-

•les chiffres entre crochets sont les fréquences théoriques en I_4
*les chiffres entre parenthèses sont le nombre de lignées appartenant à la catégorie.

Les lignées les plus fréquemment observées pour la hauteur et pour la floraison sont celles qui présentent de 55 à 75 % d'allèles dominants, en fait elles sont 13 fois plus fréquentes que ce qui était attendu en théorie. A l'opposé, les lignées appartenant aux catégories extrêmes sont 4,5 fois moins fréquentes que dans le modèle théorique.

Il faut remarquer cependant que :

1) les lignées analysées dans les diallèles ne sont pas toutes au niveau I_6, puisque pour 44 lignées étudiées :

6 sont des I_4
8 " " I_5
15 " " I_6
15 " " I_7

mais ceci ne justifie pas la non-concordance des répartitions puisque d'une part, dès la I_4, la répartition théorique présente l'allure affirmée en I_6 (tableau IX-7 - fréquences entre crochets) et d'autre part, la majorité des lignées sont soit des I_6 soit des I_7.

2) les lignées analysées ne sont qu'un échantillon de l'ensemble des 213 lignées obtenues à l'issue de la sélection généalogique mais elles ont été retenues de façon à couvrir la gamme de variation pour les caractères étudiés ; on peut donc considérer qu'il s'agit d'un échantillon représentatif.

Avant de conclure sur l'importance de l'effet de dérive dans l'ensemble de la sélection généalogique, il faut préciser quelques limites du modèle théorique présenté :

1) le point de départ, génération I_0, est un individu totalement hétérozygote. Le même type de modèle devrait donc être établi en prenant comme point de départ les différents phénotypes décrits. En fait, quelque soit le phénotype de départ, l'évolution sera comparable, c'est-à-dire diminution des fréquences des catégories intermédiaires, augmentation des fréquences des catégories extrêmes. Les modifications du modèle porteront uniquement sur l'accélération du processus et la dissymétrie de répartition, le modèle retenu étant celui qui accentue le moins le phénomène de dérive.

2) nous avons considéré que chacun des phénotypes était représenté uniquement par le génotype correspondant présentant le plus de loci à l'état hétérozygote. Or, en fait, à chaque phénotype, à l'exclusion des extrêmes (20D/0R, 19D/1R, 1D/19R et 0D/20R) correspondent plusieurs génotypes que l'on peut énumérer en les regroupant selon le nombre de loci qu'ils présentent à l'état hétérozygote :

phénotypes D = allèle dominant R = allèle récessif	différents génotypes correspondants selon le nombre de loci à l'état hétérozygote (H)
20D/0R	0H
19D/1R	1H
18D/2R	0H ; 2H
17D/3R	1H ; 3H
16D/4R	0H ; 2H ; 4H
15D/5R	1H ; 3H ; 5H
14D/6R	0H ; 2H ; 4H ; 6H
13D/7R	1H ; 3H ; 5H ; 7H
12D/8R	0H ; 2H ; 4H ; 6H ; 8H
11D/9R	1H ; 3H ; 5H ; 7H ; 9H
10D/10R	0H ; 2H ; 4H ; 6H ; 8H ; 10H
9D/11R	1H ; 3H ; 5H ; 7H ; 9H
8D/12R	0H ; 2H ; 4H ; 6H ; 8H
7D/13R	1H ; 3H ; 5H ; 7H
6D/14R	0H ; 2H ; 4H ; 6H
5D/15R	1H ; 3H ; 5H
4D/16R	0H ; 2H ; 4H
3D/17R	1H ; 3H
2D/18R	0H ; 2H
1D/19R	1H ;
0D/20R	0H ;

Le modèle devrait donc être établi en tenant compte de tous les génotypes ; ceci n'a pas été réalisé en raison de la complexité du schéma, d'une part et du fait que ce sont les génotypes les plus hétérozygotes qui dessinent l'évolution sous l'effet de la dérive. Les autres génotypes freinent cette évolution sans en modifier le sens. Ainsi, si on calcule le modèle en tenant compte des génotypes homozygotes, donc fixés à chaque génération, on peut vérifier que les variations de fréquence, de ce fait, sont minimes (IX-8). Pour l'établir, nous avons utilisé des matrices de ségrégation entre génotypes homozygotes et génotypes hétérozygotes (A-IX-3).

IX-8 . EVOLUTION DES FREQUENCES PHENOTYPIQUES DE LA I_2 A LA I_6 : AUTOFECONDATION + DERIVE EN TENANT COMPTE DES GENOTYPES HOMOZYGOTES FIXES A CHAQUE GENERATION.

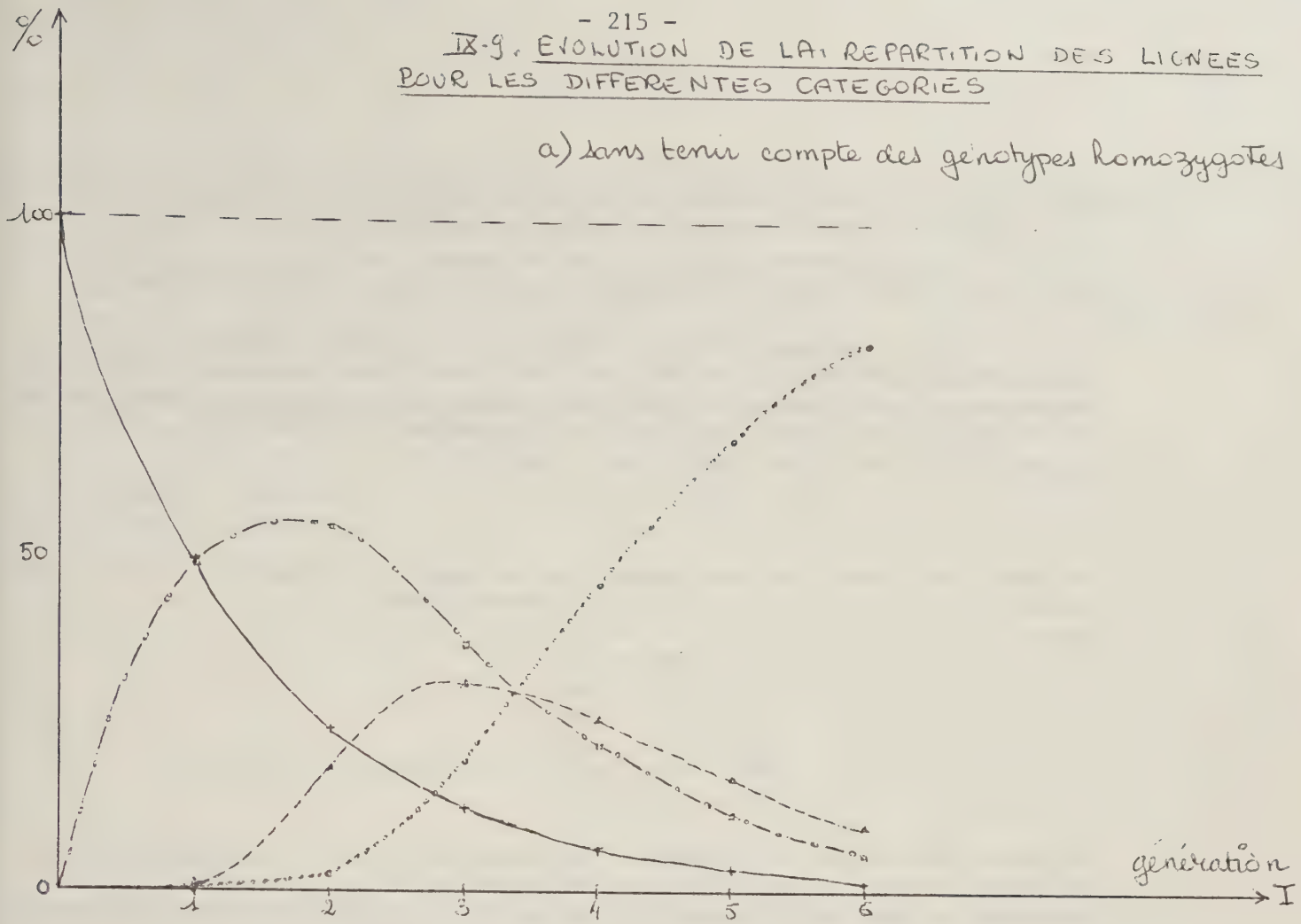
phénotypes	fréquences des allèles dominants p_i	probabilités de réalisation en I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
20D/0R	1,00	0,003	0,046	0,153	0,267	0,352
19D/1R	0,95	0,010	0,050	0,069	0,056	0,034
18D/2R	0,90	0,018	0,053	0,059	0,048	0,040
		(0,001)*	(0,007)	(0,015)	(0,019)	(0,022)
17D/3R	0,85	0,032	0,052	0,040	0,026	0,016
16D/4R	0,80	0,043	0,053	0,037	0,025	0,018
		(0,001)	(0,003)	(0,004)	(0,005)	(0,006)
15D/5R	0,75	0,056	0,048	0,031	0,018	0,009
14D/6R	0,70	0,066	0,046	0,029	0,015	0,008
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
13D/7R	0,65	0,073	0,045	0,025	0,015	0,008
12D/6R	0,60	0,078	0,044	0,024	0,012	0,006
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
11D/9R	0,55	0,080	0,042	0,022	0,012	0,006
10D/10R	0,50	0,082	0,042	0,022	0,012	0,006
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
9D/11R	0,45	0,080	0,042	0,022	0,012	0,006
8D/12R	0,40	0,078	0,044	0,024	0,012	0,006
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
7D/13R	0,35	0,073	0,045	0,025	0,015	0,008
6D/14R	0,30	0,066	0,046	0,029	0,015	0,008
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
5D/15R	0,25	0,056	0,048	0,031	0,018	0,009
4D/16R	0,20	0,043	0,053	0,037	0,025	0,018
		(0,001)	(0,003)	(0,004)	(0,005)	(0,006)
3D/17R	0,15	0,032	0,052	0,040	0,026	0,016
2D/18R	0,10	0,018	0,053	0,059	0,048	0,040
		(0,001)	(0,007)	(0,015)	(0,019)	(0,022)
1D/19R	0,05	0,010	0,050	0,069	0,056	0,034
0D/20R	0,00	0,003	0,046	0,153	0,267	0,352

* les fréquences entre parenthèses sont celles des génotypes homozygotes correspondants.

Pour figurer les différences observées du fait de l'introduction dans le modèle des génotypes homozygotes, nous avons tracé les représentations graphiques (IX - 9) des répartitions des lignées selon les catégories déjà définies. Il apparaît que les modifications induites sont minimes : catégories 100-90 % D et 10-0 % D un peu moins fréquentes (0,386 contre 0,441) et catégories 90-90-75 % D et 25-10 % D un peu plus fréquentes (0,074 contre 0,050), pas de modification pour les autres catégories. En effet, dans ces dernières, les phénotypes se retrouvent pratiquement à l'état hétérozygote.

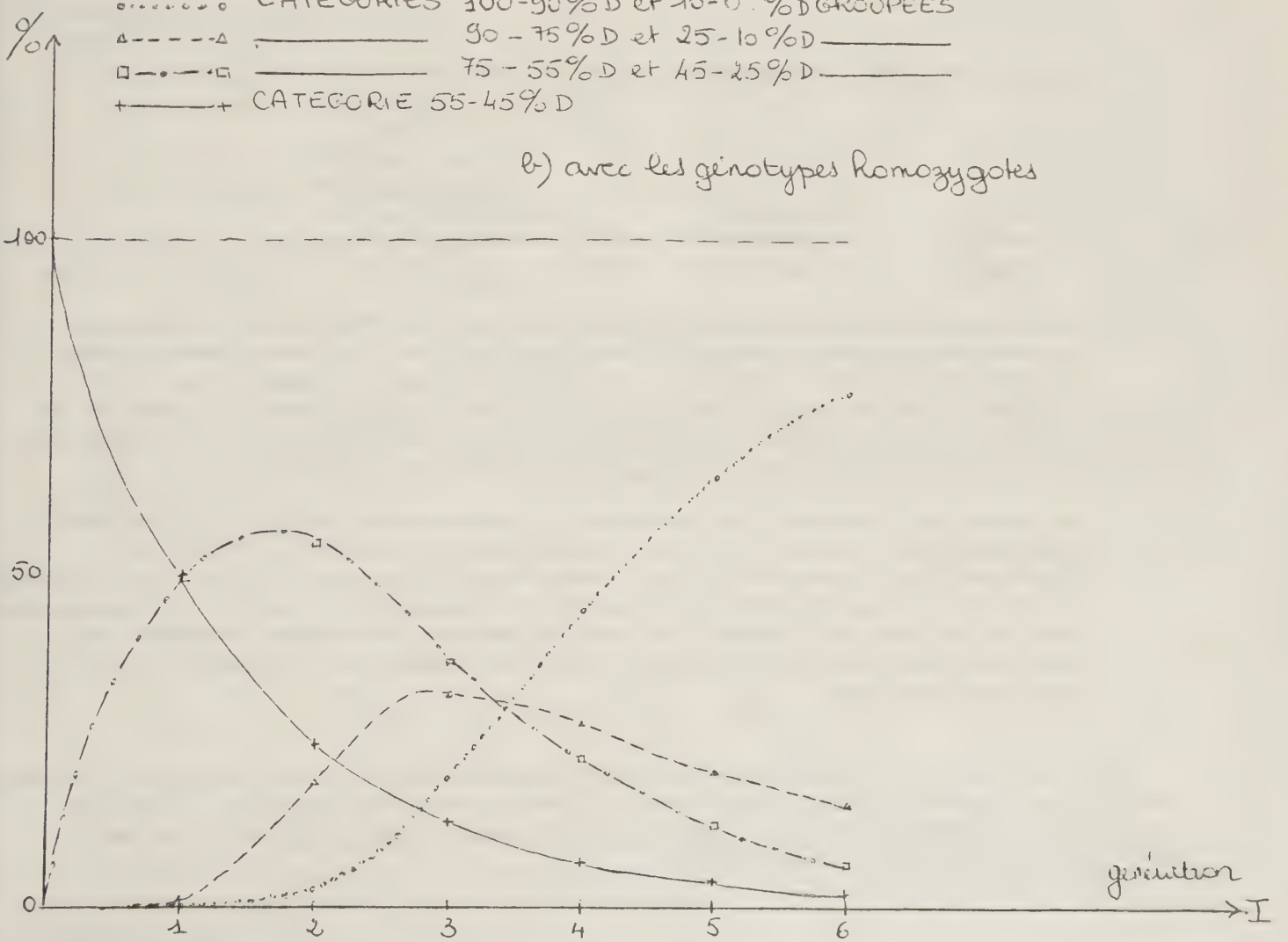
IX-9. EVOLUTION DE LA REPARTITION DES LIGNEES POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES

a) sans tenir compte des génotypes homozygotes



CATEGORIES 100-90 %D et 10-0 %D GROUPÉES
90 - 75 %D et 25 - 10 %D
75 - 55 %D et 45 - 25 %D
CATEGORIE 55-45 %D

b) avec les génotypes homozygotes



3) une plante par lot est retenue à chaque génération dans le modèle calculé. En réalité, il s'agit d'un nombre moyen puisque suivant les lignées un individu ou deux seront choisis et autofécondés, parfois trois ou plus mais aussi, dans un certain nombre de cas, la lignée sera abandonnée.

De toute façon, lorsque plusieurs génotypes sont retenus dans une lignée, leurs descendances autofécondées sont analysées comme provenant d'individus non apparentés et non pas en tant que lignées appartenant à une même famille. En ce cas, on peut donc considérer que nous sommes bien dans le cas d'un tirage aléatoire et non d'un tirage exhaustif.

4) le modèle est établi en considérant que le nombre des lignées suivies à chaque génération est illimité. En fait, nous avons étudié :

214	lignées	en I_1
315	"	en I_2
354	"	en I_3
345	"	en I_4
297	"	en I_5
213	"	en I_6

En application de la loi binomiale, nous pouvons calculer la probabilité de réalisation-seuil z pour laquelle nous sommes sûrs (au risque de 5 %) de tirer par le seul fait du hasard au moins une lignée centrée sur le phénotype correspondant.

$(1 - z)^N \leqslant 0,05$ N nombre de lignées des différents cycles

Les probabilités correspondantes aux différentes valeurs de N sont :

en I_1	$z \geqslant 0,014$	soit	$0,25 \leqslant p_i \leqslant 0,75$
en I_2	$z \geqslant 0,009$		$0,05 \leqslant p_i \leqslant 0,95$
en I_3	$z \geqslant 0,008$		$0,00 \leqslant p_i \leqslant 1,00$
en I_4	$z \geqslant 0,009$		$0,00 \leqslant p_i \leqslant 1,00$
en I_5	$z \geqslant 0,010$		$0,00 \leqslant p_i \leqslant 1,00$
en I_6	$z \geqslant 0,014$		$p_i \geqslant 0,80$ et $p_i \leqslant 0,20$

Nous voyons donc qu'en I_1 et I_2, les lignées centrées sur les phénotypes intermédiaires sont vraisemblables ; en I_3, I_4 et I_5, toutes les lignées peuvent être tirées et en I_6, alors que le niveau de fixation sur les catégories extrêmes est important et l'effet des catégories intermédiaires minime, seules ces dernières deviennent invraisemblables. Donc, globalement la limitation du nombre des lignées modifiera peu le modèle.

5) le modèle est construit en supposant l'indépendance des gènes déterminant les caractères analysés. Or, nous avons montré (paragraphe VIII-2-2) l'existence de linkage en ce qui concerne la floraison. Il n'est pas possible de chiffrer l'importance de cet effet et de modifier le modèle en conséquence. Mais le tableau IX-7 montre que pour la hauteur, caractère déterminé par des gènes indépendants, la répartition des lignées est de même nature que pour la floraison.

En conclusion, l'effet de dérive peut être minimisé en ce qui concerne l'ensemble des lots et l'ensemble des générations. La composition des lignées à l'issue de la sélection généalogique n'est pas le fait du hasard mais le résultat d'une sélection phénotypique prépondérante.

Notons que, en ce qui concerne la hauteur, l'existence d'une répartition des lignées différentes de celle due au seul effet du hasard est une nouvelle preuve de la sélection indirecte qui s'est effectuée pour ce caractère.

L'analyse qui vient d'être faite permet aussi de préciser que si une S.S.D., sélection unipare avait été menée parallèlement, celle-ci nous aurait permis d'obtenir des lignées groupant tous les gènes récessif, ce qui n'a pas été obtenu par les méthodes que nous avons retenu.

IX.4 - DIFFERENCIATION DES EFFETS DES QUATRE MODES DE DIVERSIFICATION :

L'étude de l'effet de dérive a montré que la répartition de l'ensemble des lignées à l'issue de la sélection généalogique n'était pas le fait du hasard. Il en est de même des répartitions selon les voies de diversification (IX-10).

Caractère	voies de diversification	fréquence des lignées en fonction de leur composition																	
		D : 100-90 %	R : 0-10 %	D : 90-75 %	R : 10-25 %	D : 75-55 %	R : 25-45 %	D : 55-45 %	R : 45-55 %	D : 45-25 %	R : 55-75 %	D : 25-10 %	R : 75-90 %	D : 10-0 %	R : 90-100 %
FLORAISON	sélection généalogique directe	0,31 (4)*		0,23 (3)		0,38 (5)		-		0,08 (1)		-		-	
	1ère sélection convergente	0,13 (2)		0,26 (4)		0,47 (7)		0,07 (1)		0,07 (1)		-		-	
	2ème sélection convergente	0,11 (1)		0,22 (2)		0,45 (4)		0,22 (2)		-		-		-	
	3ème sélection convergente	0,14 (1)		0,14 (1)		0,14 (1)		-		0,29 (2)		0,29 (2)		-	
répartition théorique (effet de dérive)		0,39		0,07		0,03		0,02		0,03		0,07		0,39	

* entre parenthèses figurent les effectifs des lignées correspondantes

Le tableau IX-10 présente d'importantes différences de répartition selon les méthodes de diversification. Ces variations sont confirmées par les valeurs des rapports k_D/k_R (k_D = nombre d'allèles dominants, k_R = nombre d'allèles récessifs chez les parents).

$\frac{k_D}{k_R} = 3,4$ sélection généalogique directe

$= 2,5$ première sélection convergente

$= 2,1$ deuxième sélection convergente

$= 0,8$ troisième sélection convergente

Celles-ci décroissent de la sélection généalogique directe à la troisième sélection convergente en passant successivement par la première puis la deuxième sélection convergente. Cela signifie que, dans le même ordre des voies de diversi-

fication, le nombre moyen des allèles récessifs augmente alors que celui des allèles dominants diminue.

Ces différences qui s'expriment à travers l'analyse diallèle s'accompagnent aussi de caractéristiques variant selon la voie de diversification :

. le rôle positif des allèles qui est lié :

- aux allèles dominants et récessifs pour la sélection généalogique directe
- aux allèles dominants seuls pour la première sélection convergente
- aux allèles dominants et récessifs pour la deuxième sélection convergente
- aux allèles dominants pour la troisième sélection convergente.

. les valeurs de l'héritabilité qui traduisent l'importance prise par la dominanc et aussi la limitation des recombinaisons du fait du linkage :

h^2 = 0,36 pour la sélection généalogique directe
0,28 pour la première sélection convergente
0,24 pour la deuxième sélection convergente
0,33 pour la troisième sélection convergente

Quant à la dominance, elle subit elle aussi des fluctuations :

$\frac{D}{A + D + II}$ = 0,29 pour la sélection généalogique directe
0,42 pour la première sélection convergente
0,52 pour la deuxième sélection convergente
0,67 pour la troisième sélection convergente

En fait, ces différences de constitution du matériel génétique de chacune des voies de diversification puisqu'elles ne sont pas dues aux effets du hasard sont imputables :

- soit aux effets des modes de diversification appliqués à l'origine,
- soit aux effets des sélections généalogiques qui les ont suivis.

Pour les sélections généalogiques, les conditions appliquées sont comparables d'une méthode à l'autre :

- protocole d'implantation des essais, effectifs des lots analysés
- conduite des essais
- sélection phénotypique de même nature : choix d'un phénotype précoce parmi un lot représenté en moyenne par 15 plantes.

Deux conditions peuvent différer d'une méthode à l'autre :

- les dates et les années de semis. Cependant, on peut remarquer que bien que les mêmes dates de semis aient été utilisées aux mêmes générations pour la deuxième et la troisième sélection convergente, les différences de répartition n'en sont pas moins significatives.

- l'intensité de sélection = rapport du nombre de lignées suivies à une générati n + 1 au nombre de lignées de la génération n (tableau IX-11).

IX-11. INTENSITE DE LA SELECTION SELON LA VOIE DE DIVERSIFICATION ET LA GENERATION

générations n + 1/n	sélection généalogique directe	première sélection convergente	deuxième sélection convergente	troisième sélection convergente	ensemble des lignées
I_1/I_0	0,6	2,2	2,8	4,3	1,2
I_2/I_1	1,9	3,0	0,7	1,1	1,5
I_3/I_2	1,3	0,7	1,1	1,2	1,1
I_4/I_3	1,1	0,9	0,8	0,7	1,0
I_5/I_4	0,7	0,7	1,1	1,4	0,9
I_6/I_5	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7
I_6/I_0	0,9	1,8	1,5	3,9	1,2

Il est donc peu vraisemblable que les différences de constitution des lignées soient dues à la sélection généalogique. Par contre, celle-ci a pu amplifier les effets acquis lors des croisements de convergence. En particulier, les variations des intensités de sélection sont liées aux différences d'efficacité des modes de recombinaison.

C'est donc bien dans les croisements de convergence qu'il faut rechercher la cause principale des variations notées à l'issue de la sélection généalogique, cette dernière leur ayant permis de s'exprimer et les essais diallèles en étant un outil de mesure.

IX.5- EFFETS DES DIFFERENTS MODES DE CONVERGENCE

IX.5.1 importance de la variabilité

Le premier effet qui a été noté et qui est commun aux quatre méthodes est l'importance de la variabilité engendrée. Cette dernière a été figurée par les rectangles des intervalles de confiance des moyennes et des écarts-types des lots (graphique V-19). Nous avons montré que, comparées à des niveaux parallèles (I_0 pour la sélection généalogique directe et la première sélection convergente et I_1 pour les deuxième et troisième sélections convergentes), les dispersions étaient alors de même importance, ceci n'ayant pu être établi que pour la hauteur.

Il est donc intéressant de noter qu'avec un nombre réduit d'individus, il est possible d'obtenir une variabilité du même ordre que celle manifestée par une collection de 127 lots alors que :

17 d'entre eux ont été combinés pour la première sélection convergente (13 % des origines)
23 pour la deuxième sélection convergente (18 %)
9 pour la troisième sélection convergente (7 %)

En cela, la réalisation de convergences dès la I_0 entre certains lots de la collection représente un résultat favorable permettant dans une pépinière de même superficie d'analyser des descendances d'effectif d'autant plus élevé que le nombre de parents sera plus petit. Ainsi, les chances d'isolement des recombinaisons ou des transgressions deviennent elles aussi plus grandes.

Le problème réside dans le choix des lots à recombiner. Dans le matériel que nous avons analysé, il apparaît que c'est par la représentation des différentes origines commerciales, c'est-à-dire par le choix de variétés non apparentées, méthode commune à la première et à la troisième convergence, que soit assuré au mieux une variabilité comparable à celle de la collection variétale.

En ce qui concerne la méthode de recombinaison, le brassage panmictique est le moyen le plus sûr d'obtenir toutes les recombinaisons possibles.

IX.5.2 . effets des modes de convergence sur la structure génétique des lignées

Deux effets ont été recherchés au départ des trois méthodes de convergence (paragraphe V- 1) :

- l'augmentation de la fréquence des gènes favorables
- l'accroissement du taux des génotypes recombinés.

IX.5.21 la sélection généalogique directe

Pour la floraison, caractère à forte additivité, les allèles dominants et récessifs qui le déterminent sont donc présents dans la collection d'origine. L'effet de la sélection généalogique se manifeste au niveau de :

- l'autofécondation par l'homozygotisation des génotypes donc leur fixation selon différentes proportions d'allèles dominants et d'allèles récessifs.

- la limitation des effectifs qui entraîne un risque de perte accru d'allèles récessifs donc une tendance à obtenir des lignées présentant plus d'allèles dominants que dans la population I_0.

- la sélection phénotypique, un choix orienté vers les phénotypes présentant les meilleures performances, c'est-à-dire les meilleures valeurs propres. Ne connaissant pas le rôle respectif des allèles dominants et des allèles récessifs parmi les allèles favorables, il est impossible de préciser la composition du génotype qui présenterait la meilleure valeur propre. En ce qui concerne les diallèles I et II, ce sont les lignées 416, 408 et 298 qui manifestent les longueurs de cycle semis-floraison les plus courtes ; elles se situent dans la catégorie 75-55 % D/25-45 % R. Dans ce cas, les meilleures valeurs propres correspondraient à des génotypes présentant parmi les allèles favorables vraisemblablement plus de dominants que de récessifs. Toutefois, compte tenu des variations dans la composition allèles favorables-allèles défavorables, vis-à-vis de la composition allèles dominants-allèles récessifs dans la même catégorie 75-55 % D/25-45 se trouvent des lignées à valeurs propres inférieures.

La sélection généalogique directe a donc laissé subsister les deux types alléliques favorables mais les allèles récessifs positifs sont moins fréquents que les allèles dominants positifs. Ce dernier point permet de penser que la collection I_1 devait présenter une répartition relativement équilibrée en allèles dominants et en allèles récessifs positifs.

IX .5.22 la première sélection convergente

Dans cette méthode, on a tenté d'améliorer la fréquence p des allèles favorables en croisant des phénotypes précoces, c'est-à-dire à valeurs de floraison basses par des phénotypes moyens à très tardifs (type I) ou de type II (floraison partielle entre le 1er novembre et le 15 février).

Ce choix a conduit à croiser des génotypes qui devaient être souvent de composition complémentaire en allèles favorables et allèles défavorables. De ce fait, les individus I_1 présentaient un maximum d'allèles dominants, positifs ou négatifs. Dans les générations suivantes, on observe donc :

- orientation de la sélection phénotypique vers des individus présentant les allèles favorables à l'état dominant plutôt que récessif.

- des disjonctions réduites en retenant principalement des individus porteurs d'une majorité d'allèles dominants "masquant" l'hétérogénéité, ce qui a donné l'impression de fixation rapide des lignées alors que l'hétérozygotie demeurait importante (cf. paragraphe VI-3-2).

En outre, le linkage a pu concourir à maintenir un excès de formes dominantes favorables-défavorables.

La première sélection convergente a donc conduit à des lignées présentant les allèles favorables à l'état dominant. Ainsi, dans ce cas, les lignées qui montrent les meilleures valeurs propres sont celles qui correspondent à la catégorie 100-90 % D/0-10 % R (BS_2 et BJ_4).

Toutefois, on note qu'à l'issue de la sélection généalogique, les lignées les plus fréquentes appartiennent à la catégorie 75-55 % D/25-45 % R. Ceci traduit :

- d'une part que, du fait de l'hétérozygotie importante, la sélection phénotypique a perdu en efficacité et conduit à des lignées présentant un taux important d'allèles récessifs défavorables (lignées BH, BJ_3 et BN_2).

- d'autre part, la présence d'allèles récessifs favorables malgré les valeurs élevées des coefficients de corrélation (Wr + Vr, $\gamma r \in [0{,}72 \text{ et } 0{,}88]$. (lignées BI_2, BJ_2 et BP).

IX.5.23 la deuxième sélection convergente

Cette voie a été basée elle aussi sur l'amélioration de la fréquence des allèles favorables mais, dans ce cas, en croisant des individus issus de deux cycles de sélection généalogique directe donc présentant un niveau d'homozygotie supérieur à celui existant en I_0. Rappelons qu'en partant d'un pourcentage d'homozygotes nul en I_0, celui-ci en I_2 devient 24 % pour 5 gènes indépendants et 6 % pour 10 gènes indépendants (cf. A-VI-5). En outre, du fait de la sélection phénotypique, le niveau des allèles favorables fixés est aussi plus élevé en I_2.

En I_2, les génotypes présentent donc un certain nombre de loci à l'état homozygote et du fait de la sélection phénotypique essentiellement pour des allèles favorables. En outre, puisque cette fixation est intervenue dès la I_1 ou la I_2, elle concerne davantage les allèles récessifs que les allèles dominants. Nous avons vu aussi précédemment que le taux d'homozygotie moyen dans la collection variétale de départ, bien que celle-ci soit composée d'hybrides F_1 et de variétés-populations, n'était pas négligeable en ce qui concerne le caractère floraison (cf. paragraphe V-1-1). De ce fait, le taux d'homozygotie moyen en I_2 est supérieur à celui chiffré théoriquement.

Ainsi, la deuxième sélection convergente permet de conserver les allèles dominants et récessifs favorables ; bien plus, le taux de ces derniers est accru par rapport à la sélection généalogique directe puisque :

- la combinaison des génotypes 2 à 2 permet de maintenir une partie des allèles récessifs fixés selon le degré d'identité des deux parents pour les loci correspondants.

- la combinaison des génotypes 2 à 2 entraîne de nouvelles possibilités de recombinaison et augmente ainsi les probabilités de réalisation de certains génotypes dans les générations suivantes.

La deuxième sélection convergente a donc conduit à des lignées présentant, en moyenne, plus d'allèles récessifs que dans les autres voies. Toutefois, comme pour la sélection généalogique directe, les lignées manifestant les meilleures valeurs propres appartiennent à la catégorie 75-55 % D/25-45 % R : AG et AR_1 ; celles-ci ne sont cependant pas significativement différentes des lignées AI (catégorie 90-75 % D/10-25 % R) et AV_1 (catégorie 55-45 % D/45-55 % R). Ceci nous conduit à supposer qu'en ce qui concerne les allèles favorables :

+ soit qu'il y a plus d'allèles dominants que d'allèles récessifs impliqués pour le caractère floraison tout au moins dans le matériel génétique étudié.

+ soit que les allèles dominants ont un effet additif individuel supérieur à celui des allèles récessifs.

IX.5.24 la troisième sélection convergente

Partant d'un matériel génétique consanguin comme pour la deuxième sélection convergente mais, dans ce cas, au niveau I_3, on a de plus :

- réduit le nombre des lignées parentales intervenant
- recroisé celles-ci en utilisant un brassage panmictique.

En partant de la I_3, on a encore augmenté le niveau moyen d'homozygotie (en I_3 pour 5 gènes indépendants 51 %, pour 10 gènes indépendants 26 % en partant d'une I_0 totalement hétérozygote) et, par conséquent, la fréquence des loci à l'état homozygote pour les allèles récessifs favorables.

Le brassage panmictique, rencontre aléatoire des gamètes mâles et femelles, permet la réalisation de toutes les combinaisons entre les neuf lignées parentales, ce qui a pour conséquence :

- selon les descendants, de renforcer ou de minimiser la fixation partielle obtenue au cours de la sélection généalogique antérieure.

- d'accroître au maximum les possibilités de recombinaison tout en réduisant en cela l'effet du linkage.

La limitation du nombre des parents et les conditions de leur choix peuvent modifier les fréquences respectives des allèles dominants et récessifs parmi les allèles favorables. Si celles-ci sont sensiblement égales, cette dernière voie est la plus prometteuse, d'autant plus que les parents seront plus consanguins, c'est-à-dire que la fréquence des allèles favorables sera plus élevée dans la population parentale.

La difficulté de cette méthode vient de l'éclatement des génotypes qu'elle entraîne et donc de la taille des effectifs à analyser afin de tirer les génotypes les plus favorables. Leur choix est d'autant plus délicat que leur mesure est rendue difficile, comme dans le cas de la floraison par la double action d'allèles dominants et d'allèles récessifs.

Cette voie a conduit à des lignées présentant en moyenne plus d'allèles récessifs que dominants, les allèles récessifs favorables ne se manifestant pas lors de l'analyse diallèle. Cet aspect est surprenant compte tenu des possiblités de recombinaison de cette méthode, on peut donc supposer que les allèles favorables récessifs :

- soit n'étaient pas présents dans la population de départ du fait de la limitation du nombre des parents.

- soit ont été perdus du fait d'effectifs trop restreints pour les générations I_1 et I_2 de cette voie.

- soit sont communs à toutes les lignées analysées en diallèle et de ce fait ne se manifestent pas.

Les résultats ne permettent pas de déterminer s'il s'agit du premier cas ou du deuxième cas. Toutefois, en faveur de ce dernier, joue l'absence d'intéraction dans le diallèle VI qui peut être due à une importante identité de constitution dans les lignées. Un septième diallèle comparant des lignées de la deuxième et de la troisième sélections convergentes aurait pu être déterminant pour juger la présence d'allèles récessifs favorables parmi les lignées du diallèle VI.

En l'absence d'effet d'allèles récessifs favorables, la meilleure valeur propre obtenue correspond à une lignée appartenant à la catégorie 100-90 % D/0-10 % R : P 250-1.

En conclusion, il est certain que les méthodes de convergence ont un effet favorable sur la structure génétique des lignées et donc permettent une amélioration de leur balance interne. Les meilleures conditions d'application sont :

- le choix de parents non génotypiquement complémentaires dans le cas de caractères mettant en jeu simultanément des allèles dominants et des allèles récessifs. Cette condition suppose donc connu le déterminisme du caractère recherché.

- le croisement de lignées déjà consanguines pour obtenir une fréquence de gènes favorables supérieure à celle de la collection variétale de base. Toutefois, le gain possible s'il est important dans les premières générations devient assez rapidement moins sensible dans les générations ultérieures du fait du degré d'homozygotie croissant. Le niveau de consanguinité efficace, c'est-à-dire pour lequel la fréquence des gènes favorables est déjà très sensiblement améliorée et pour lequel le gain ultérieur ne justifie pas la réalisation d'autres générations en autofécondation dépend :

  . du nombre de gènes en jeu.
  . de l'existence ou de la non-existence de liaison génétique.
  . de l'efficacité de la sélection généalogique, c'est-à-dire de la valeur de l'héritabilité au sens étroit.
  . de la durée admise pour la longueur du programme de sélection.

  Cette condition suppose elle aussi connu le déterminisme du caractère sélectionné mais elle dépend donc aussi en même temps de l'importance des moyens mis en oeuvre par le sélectionneur.

- le brassage panmictique mais ses conditions d'application et, en particulier, l'importance des effectifs des descendances à analyser le rendent plus difficile à mettre en oeuvre que le système de combinaison des lignées deux à deux.

D'autre part, l'étude méthodologique que nous avons entreprise aurait dû être complétée par la réalisation d'une sélection par filiation unipare (S.S.D. single seed descent method). En effet, celle-ci nous aurait conduit à des lignées présentant

soit un maximum d'allèles dominants, soit un maximum d'allèles récessifs (cf. paragraphe IX-3-2). Si cette méthode n'a pas été introduite au début de notre étude, c'est en raison de la date plus récente de sa mise en application.

IX.6- LES APTITUDES A LA COMBINAISON

Le but final de la sélection réalisée étant la création d'hybrides F_1, il faut donc pour terminer, juger les résultats obtenus au stade hybride d'une part quant au progrès réalisé par rapport au niveau de départ, c'est-à-dire aux variétés existantes, d'autre part quant à la structure des lignées parentales.

IX.6.1 par rapport au niveau de départ

Une comparaison est établie à partir des représentations des lots en fonction de leur moyenne de floraison ($\bar{x}$) et du groupement de la floraison (Sx) pour :

- la collection variétale originale, c'est-à-dire les 65 lots de type I (floraison à 100 % durant la période du 1er novembre au 15 février) représentant 51 % de cette collection = graphique A-IX-4 et calque IX-12.

- les 146 hybrides F_1 réalisés pour les six diallèles = graphique IX-12

Le gain réalisé à l'issue des différentes sélections généalogiques est très significatif puisque le nuage de répartition des hybrides F_1 se trouve nettement décalé de celui des lots I_0 vers le bas gauche (IX-12). On observe en fait :

. une amélioration de la précocité de 15 jours-unités soit 14 jours réels, c'est-à-dire une floraison à partir du 25 octobre contre une floraison du 7 novembre pour un semis du 7 août. Ceci correspond à un cycle de 79 jours. On peut remarquer, en outre, que 50 % environ des hybrides fleurissent en moins de 150 j.-u. appartenant ainsi au groupe des très précoces.

. des floraisons n'excédant pas 170 jours-unités, c'est-à-dire 123 jours réels soit des cycles allant de 2 mois 1/2 à 4 mois.

. un groupement de la floraison important malgré le niveau plus ou moins inbred des lignées (I_4 à I_7) : de 1,2 à 10,2 jours-unités contre 5,3 à 18,2 voire 34,1 jours-unités pour les lots I_0.

L'amélioration de la longueur du cycle est donc décisive. Elle l'est d'autant plus si l'on se repère aux variétés existantes des groupes I et II fleurissant en 21 semaines en moyenne soit en 4 à 5 mois (cf. paragraphe IV-1-3).

Le groupement de la floraison (Sx $\leqslant$ 7 jours-unités) implique la recombinaison de lignées I_6 ou I_7.

IX.6.2 - par rapport aux lignées parentales

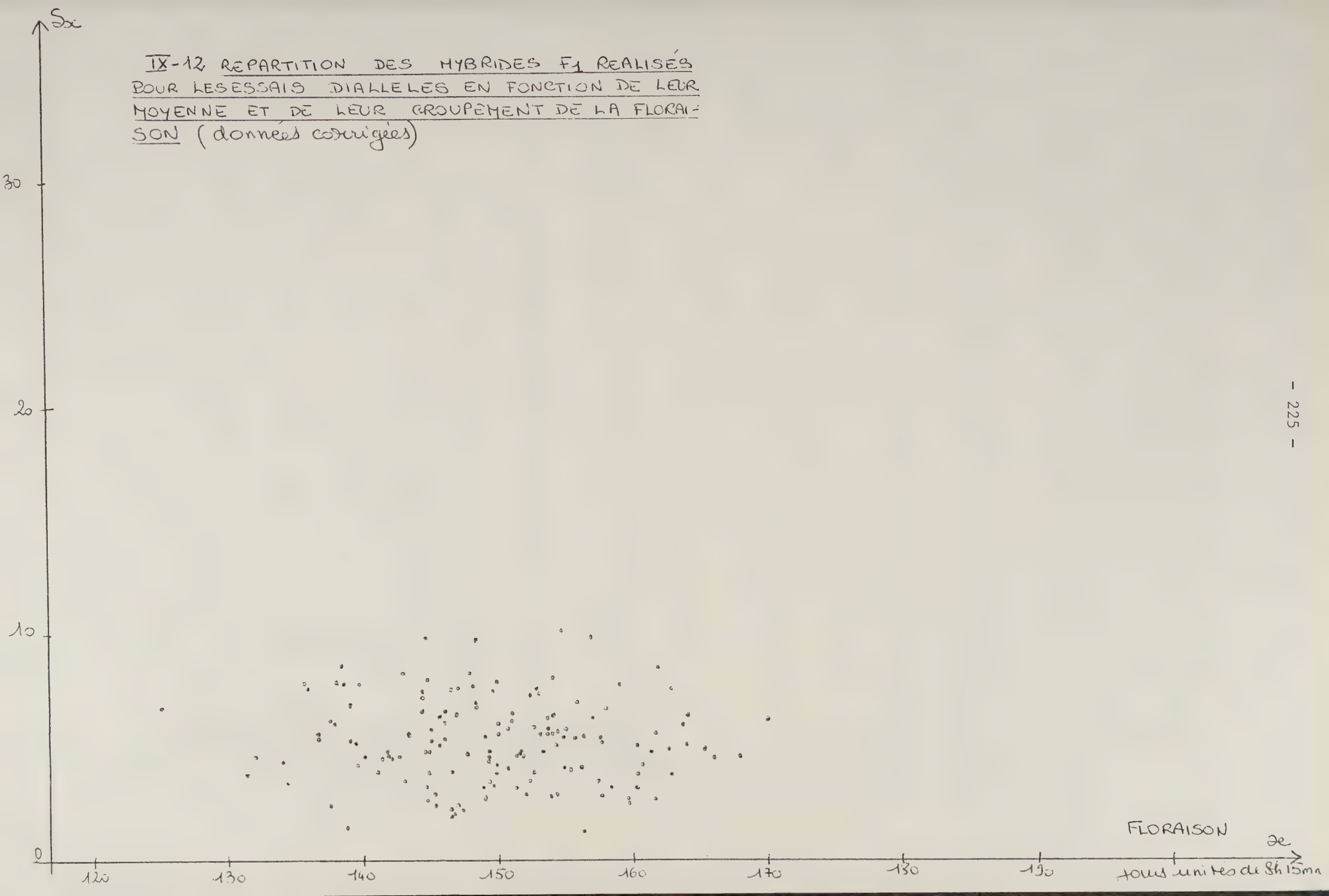
Une comparaison de même nature peut être établie pour :

- les 146 hybrides F_1 réalisés pour les six diallèles = calque IX-13.

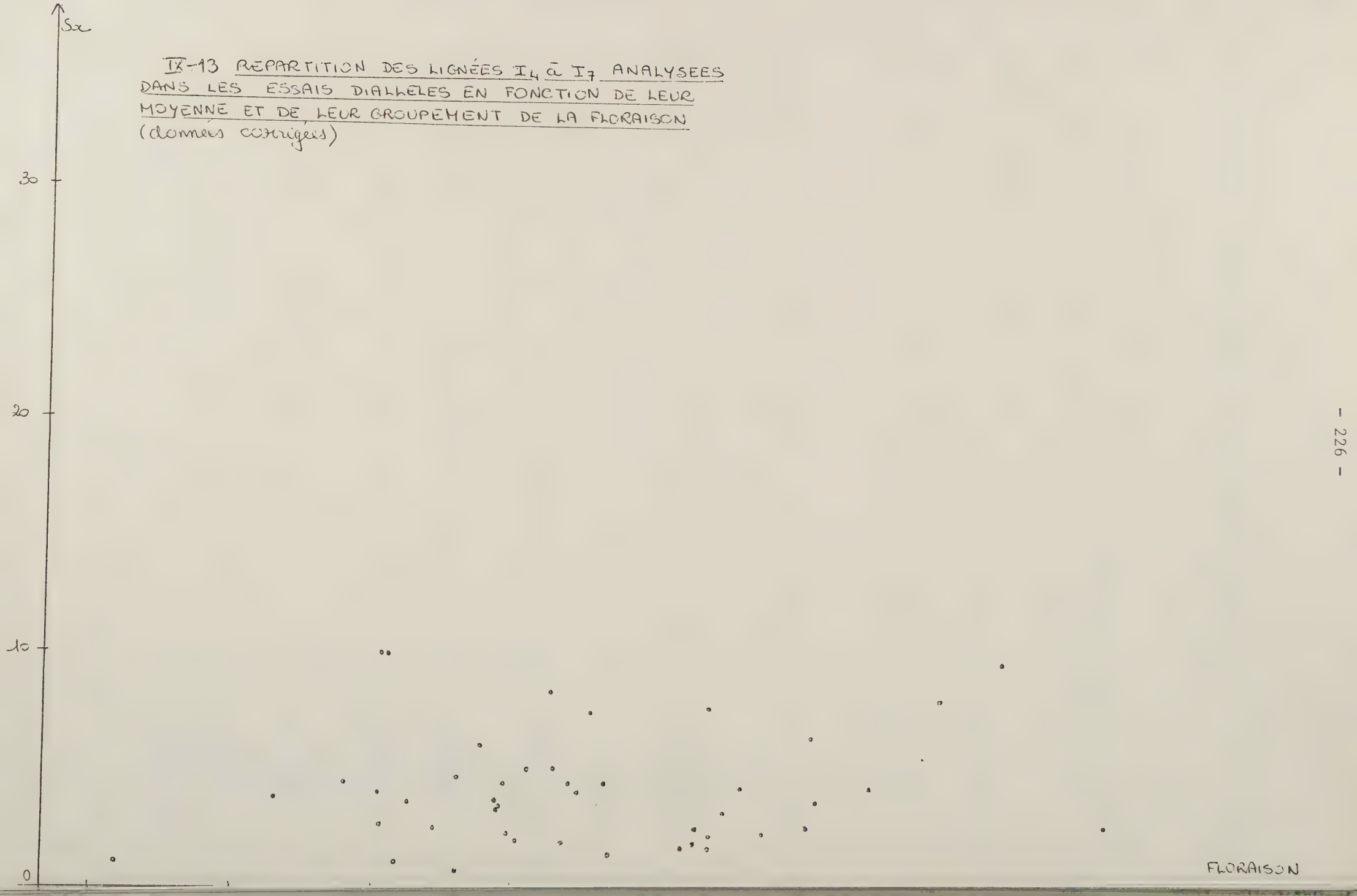
- les 44 lignées I_4 à I_7 étudiées dans les six essais diallèles = graphique IX-13.

NUAGES DE REPARTITION DES LOTS I_o DE LA COLLECTION (essai 69 I) (cf A. VIII. 5)

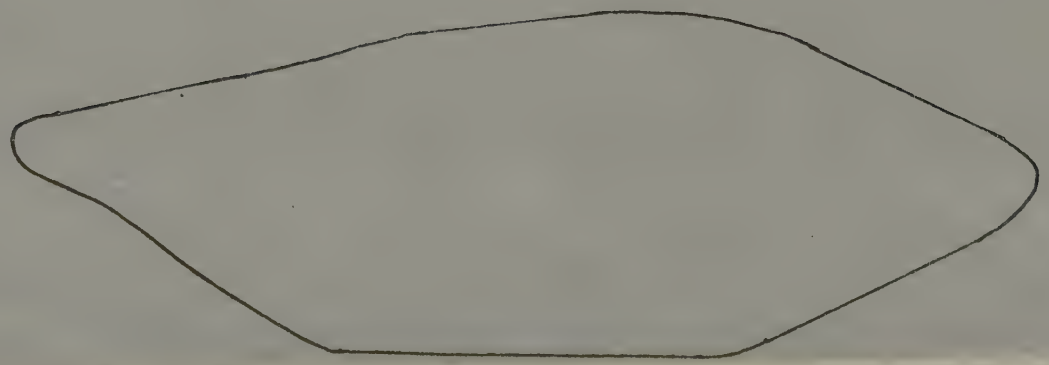
IX-12 REPARTITION DES HYBRIDES F1 REALISÉS POUR LES ESSAIS DIALLELES EN FONCTION DE LEUR MOYENNE ET DE LEUR GROUPEMENT DE LA FLORAISON (données corrigées)



IX-13 REPARTITION DES LIGNÉES I_4 à I_7 ANALYSEES DANS LES ESSAIS DIALLELES EN FONCTION DE LEUR MOYENNE ET DE LEUR GROUPEMENT DE LA FLORAISON (données corrigées)



NUAGE DE REPARTITION DES HYBRIDES F_1
(cf IX-12)



On observe, dans ce cas, une dispersion moins large parmi les hybrides F_1 que parmi les lignées, c'est-à-dire que pour une variation des groupements de floraison analogue, celle des moyennes est moindre : les tardivités ne se manifestent pas sous forme hybride, les précocités quant à elles sont de même ordre. Cela traduit le rôle conjoint de la dominance et de l'hétérosis :

- parmi les lignées les plus précoces (floraisons en moins de 140 j.-u.) il n'y a pas de cas d'hétérosis. Ces lignées étant peu nombreuses (3), on ne peut donc affirmer que l'on ne puisse obtenir des lignées de ce type manifestant de l'hétérosis.

- les hybrides F_1 les plus précoces (floraison en moins de 140 j.-u.) sont plus nombreux que les possibilités de combinaison des trois lignées de même type. Ceux-ci sont donc le fait d'un effet d'hétérosis parmi des lignées moins précoces.

ex. : BI_1 x BP (Diallèle III) floraison moyenne $\bar{x}$ = 125,0 j.-u. (valeurs corrigées)

lignées BI_1 $\bar{x}$ = 150,2 j.-u. (précoce)
BP $\bar{x}$ = 141,1 j.-u. (très précoce)

P 250-1 x P 250-2 (Diallèle VI) $\bar{x}$ = 137,5 j.-u.

lignées P 250-1 $\bar{x}$ = 144,2 j.-u. (très précoce)
P 250-2 $\bar{x}$ = 163,1 j.-u. (moyen)

254 x 285 (Diallèle I) $\bar{x}$ = 138,8 j.-u.

lignées 254 $\bar{x}$ = 192,4 j.-u. (très tardif)
285 $\bar{x}$ = 147,6 j.-u. (très précoce)

- l'existence de cas d'hétérosis est d'ailleurs manifeste pour les autres catégories, dès lors que l'on compare leurs pourcentages cumulés (tableau IX-14).

IX-14. REPARTITION DES LIGNEES ET DES HYBRIDES F_1 ANALYSES EN DIALLELE SELON LES GROUPES DE PRECOCITE.

groupes de précocité	lignées			hybrides F_1		
	effectif	%	% cumulés	effectif	%	% cumulés
très précoces $\bar{x} < 150$ j.-u.	18	41	41	77	53	53
précoces $150 \leqslant x < 160$ j.-u.	10	23	64	51	35	88
moyens $160 \leqslant \bar{x} < 170$ j.-u.	9	20	84	17	11	99
tardifs $170 \leqslant \bar{x} < 180$ j.-u.	4	9	93	1	1	100
très tardifs $\bar{x} \geqslant 180$ j.-u.	3	7	100	0	0	-
	44	100	-	146	100	-

L'incidence de l'hétérosis est donc importante puisque 88 % des hybrides sont de type précoce et qu'il n'existe pratiquement pas de tardifs.

- l'absence d'hybrides tardifs est liée à la présence d'allèles dominants de précocité dans les lignées partenaires des lignées tardives et à l'effet d'hétérosis. Ainsi, ce dernier est manifeste lorsque les deux lignées parentales sont tardives :

ex. : BH x BS_1 (Diallèle III) $\bar{x}$ = 146,9 (données corrigées)

lignées BH $\bar{x}$ = 175,5 (tardif)
BS_1 $\bar{x}$ = 185,0 (très tardif)

Une autre analyse des lignées peut être réalisée en fonction de l'aptitude spécifique à la combinaison à travers la composition des lignées en allèles dominants et complémentairement en allèles récessifs (tableau **A-IX-6)**. Rappelons que l'interprétation est dans ce cas limitée par la non coïncidence du sens de la dominance et du sens d'action favorable des allèles déterminant la floraison, ce qui entraîne une certaine imprécision.

On peut cependant établir deux types de classification des lignées selon leur constitution (IX-15)

+ en fonction de leur effet propre

+ en fonction des combinaisons qu'elles permettent de réaliser.

La méthode qui est retenue est le calcul du rang moyen pour un type de lignée donné ou pour une combinaison donnée selon le classement réalisé pour l'aptitude spécifique à la combinaison (plus forte A.S.C. rang 1, A.S.C. suivante rang 2, etc...) (cf. A-IX-5).

IX-15. CLASSIFICATIONS DES TYPES DE LIGNEES SELON LA VOIE DE DIVERSIFICATION ORIGINALE (composition en allèles dominants)

voie de diversification originale	classification en fonction des effets propres (par rang moyen croissant)	classification en fonction des combinaisons (par rang moyen croissant)
sélection généalogique directe	75-55 %	90-75 % x 75-55 %
	90-75 %	75-55 % x 75-55 %
	45-25 %	90-75 % x 45-25 %
	100-90 %	100-90 % x 75-55 %
		90-75 % x 90-75 %
		100-90 % x 100-90 %
		75-55 % x 45-25 %
		100-90 % x 90-75 %
		100-90 % x 45-25 %
première sélection convergente	55-45 %	100-90 % x 45-25 %
	100-90 %	100-90 % x 55-45 %
	45-25 %	100-90 % x 90-75 %
	75-55 %	90-75 % x 45-25 %
	90-75 %	100-90 % x 75-55 %
		90-75 % x 55-45 %
		90-75 % x 90-75 %
		90-75 % x 75-55 %

deuxième sélection convergente	100-90 %	100-90 % x 90-75 %
	90-75 %	100-90 % x 55-45 %
	55-45 %	100-90 % x 75-55 %
	75-55 %	90-75 % x 55-45 %
		90-75 % x 75-55 %
		75-55 % x 55-45 %
		75-55 % x 75-55 %
troisième sélection convergente	100-90 %	90-75 % x 75-55 %
	90-75 %	100-90 % x 25-10 %
	75-55 %	100-90 % x 45-25 %
	45-25 %	100-90 % x 90-75 %
	25-10 %	90-75 % x 25-10 %
		75-55 % x 45-25 %
		100-90 % x 75-55 %
		90-75 % x 45-25 %
		75-55 % x 25-10 %
		45-25 % x 25-10 %

A travers la classification des types de lignées, selon leur effet propre, réapparaissent des différences de comportement selon les voies de diversification originale. La classification en fonction des combinaisons permet de préciser l'effet des types de lignées :

. pour la sélection généalogique directe, les lignées présentant de 75 à 55 % d'allèles dominants donc de 25 à 45 % d'allèles récessifs qui manifestaient en même temps la meilleure valeur propre conduisent aux plus fortes aptitudes spécifiques à la combinaison qu'elles soient combinées entre elles ou avec des lignées 90-75 % D/10-25 % R. A l'opposé, les lignées 100-90 % D/0-10 % R induisent les moins bonnes aptitudes spécifiques à la combinaison qu'elles soient croisées entre elles ou avec des types 90-75 % D/10-25 % R.

. pour la première sélection convergente, il n'y a pas de comportement favorable des lignées chaque type conduisant soit à de bons hybrides soit à de mauvais ainsi qu'en témoigne le rang moyen des lignées (cf. A- IX -5). Le tableau A- IX-6 montre un comportement dans ce cas encore très favorable des lignées 75-55 % D/25-45 % R pour les meilleures aptitudes spécifiques à la combinaison.

. pour la deuxième sélection convergente, les lignées 100-90 % D/0-10 % R apparaissent les plus favorables induisant dans tous les cas un effet d'hétérosis positif quelque soit le type de la lignée partenaire. A l'opposé, les lignées 75-55 % D/25-45 % R combinées entre elles montrent un effet d'hétérosis négatif maximum. Mais dans cette voie, les lignées 75-55 % D/25-45 % R peuvent aussi permettre la réalisation de très bons hybrides (AE x AV_1, AI x AR_2, AE x BE,...).

. pour la troisième sélection convergente, on retrouve aussi l'effet très favorable des lignées 100-90 % D/0-10 % R quelque soit pratiquement le type de la lignée partenaire. A l'opposé, se situent les lignées des types 45-25 % D/ 55-75 % R et 25-10 % D/75-90 % R lorsqu'elles sont combinées entre elles. Dans ce cas encore, les lignées 75-55 % D/25-45 % R présentent un comportement variable.

En conclusion, les lignées 75-55 % D/25-45 % R ainsi que les lignées 100-90 % D/0-10 % R se montrent les plus fréquemment favorables. Les premières en combinaison entre elles ou avec des catégories voisines (90-75 % D/10-25 % R), les secondes quelque soit le partenaire. Pour la floraison, le rôle des allèles dominants est donc manifeste dans ce dernier cas ce qui nous conduit à supposer qu'ils sont plus nombreux que les allèles récessifs positifs. Toutefois, le rôle des allèles

récessifs est certain dans les combinaisons de type 75-55 % D/25-45 % R favorables. En effet, celles-ci peuvent être soit le fait de génotypes complémentaires qui produiraient ainsi un hybride présentant un maximum d'allèles dominants favorables, soit le fait de génotypes présentant une composition équilibrée en allèles dominants et récessifs favorables. Deux exemples illustrent ce dernier cas :

+ ainsi les hybrides 282 x 416 et 249 x 416 manifestent une bonne aptitude spécifique à la combinaison, l'équilibre de composition de ces trois lignées se traduit dans le bon comportement du croisement 249 x 282 (Diallèle I).

+ il en est de même pour BI_1, BJ_2 et BP (Diallèle III).

D'autre part, le bon comportement des lignées 25-10 % D/75-90 % R en combinaison avec les lignées 100-90 % D/0-10 % R dans le diallèle VI, nous confirme l'intérêt que nous aurions eu à appliquer une sélection par filiation unipare qui nous aurait permis la création et l'étude de lignées 0-10 % D/90-100 % R qu'a exclu une sélection phénotypique trop poussée. Il n'est pas certain que de telles lignées auraient eu un intérêt dans la phase de création variétale mais elles nous auraient permis de compléter ainsi notre analyse.

X - CONCLUSION DU PROGRAMME

X.1- BILAN DU PROGRAMME

Le programme qui a servi de support à cette étude a donc atteint son stade ultime : la création de variétés hybrides F_1 aptes à fleurir dans la période que nous nous étions fixée, soit du 1er novembre au 15 février et dans les conditions de notre crible : température réduite et lumière naturelle. Bien plus, on peut estimer cet objectif dépassé puisque :

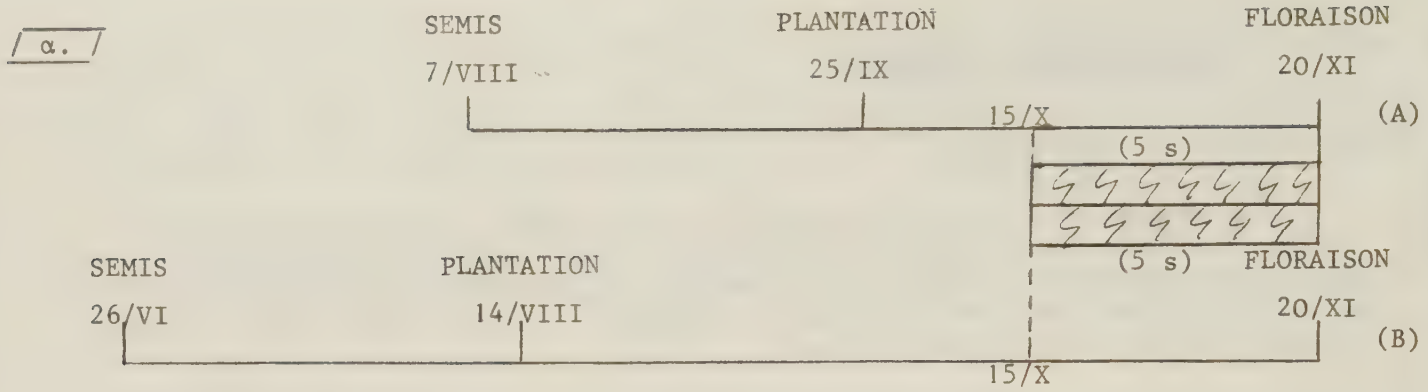
1) les variétés sont adaptées à une croissance et une floraison à 11° C ± 2° durant la phase qui nécessite un apport de calories ce qui correspond en fait à un abaissement de température de 5 à 7° par rapport aux conditions de culture des variétés au départ (paragraphe IV-1-3) et d'au minimum 2° par rapport aux conditions actuellement imposées aux cultures en dépit de la non-adaptation des variétés commercialisées.

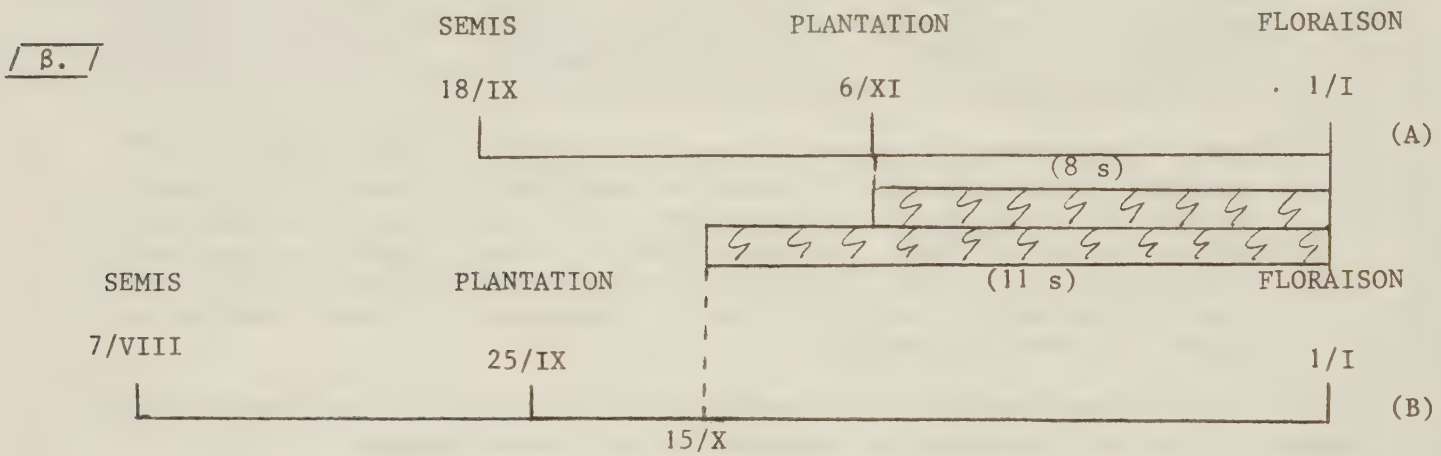
2) dans le même temps, le cycle du semis à la floraison qui était de 21 semaines (paragraphe IV-1-3) dans les conditions de départ a été ramené à 15 semaines en moyenne (correspondant à une floraison de 150 jours-unités pour un semis du 7 août : graphique IX-12) et varie parmi les hybrides F_1 décrits au chapitre VIII sur un intervalle de ± 3 semaines. Ce résultat, observé pour une production de qualité comparable, introduit donc un autre niveau d'économie d'énergie.

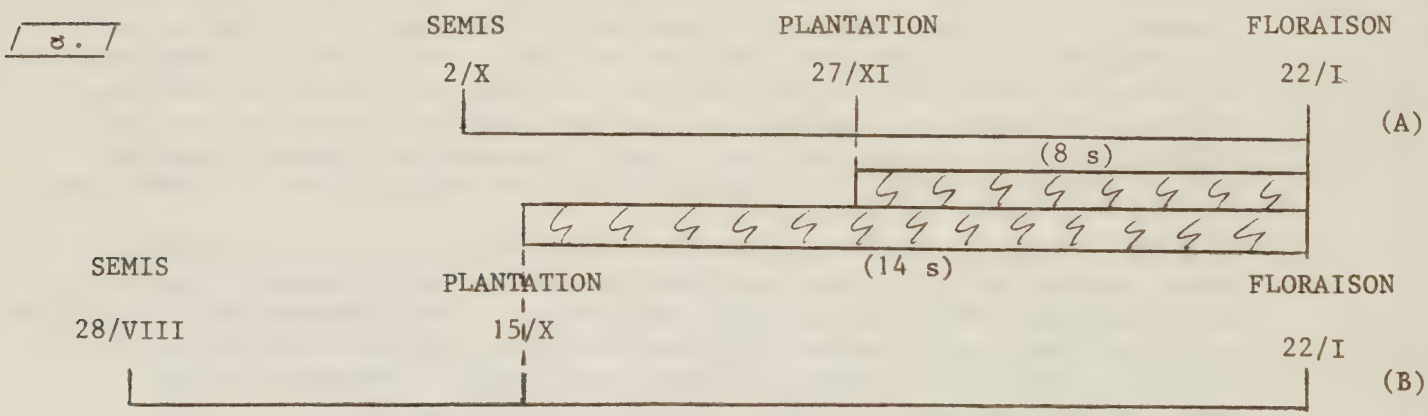
En fait, ce deuxième type d'économie d'apport thermique se manifeste de deux façons différentes au niveau de la production de fleurs coupées :

a) par la diminution de la durée de la phase de culture chauffée. La plantation étant en fait réalisée 7 semaines après le semis, la phase qui mène de la plantation à la floraison dure 8 semaines pour les variétés à cycle court (15 semaines) et 14 semaines pour les variétés à cycle long (21 semaines). Or, dans les conditions climatiques de la région parisienne, le chauffage ne devient nécessaire qu'à partir du 15 octobre. Ainsi, l'économie liée au raccourcissement du cycle cultural n'est effective que lorsque, pour une date de floraison fixée, le chauffage doit être appliqué dès la plantation.

   Un schéma théorique (X-1) supposant la plasticité totale des variétés (même longueur de cycle quel que soit la date de semis) permet de montrer que l'économie, en dehors de celle réalisée par l'abaissement des températures de culture, est nulle lorsque la plantation des variétés à cycle court est réalisée avant le 15 octobre (X-1-α). Par contre, l'économie devient sensible dès lors que la plantation est effectuée après le 15 octobre (X-1-β) : ainsi dans l'exemple retenu, pour une floraison du 1er janvier, la phase de chauffage se trouve raccourcie de 3 semaines. Globalement, le gain se manifeste pour des floraisons après le 21 novembre en ce qui concerne les variétés de 15 semaines et dès le 1er novembre pour les variétés de 12 semaines. Pour des floraisons après le 22 janvier, le gain devient alors maximal (6 semaines) (X-1-σ). Ce schéma demeure théorique dans la mesure où la plasticité ne se manifeste pas à 100 % dans les variétés sélectionnées mais le gain reste de même grandeur car les cycles sont, dans les plus mauvais cas, allongés de façon comparable pour les variétés à cycle court et à cycle long au fur et à mesure du retardement des dates de semis.







X-1. POSSIBILITES D'ECONOMIE DE CHAUFFAGE AVEC DES VARIETES PLASTIQUES A CYCLE COURT SELON LA PERIODE DE FLORAISON RETENUE

(A) variétés à cycle court (15 semaines)
(B) variétés à cycle long (21 semaines)

ϟϟϟ phase de la culture chauffée

(5 s) durée du chauffage en semaine

α. plantation avant le 15 octobre : pas d'économie

β. plantation après le 15 octobre : économie effective (3 semaines dans le cas présenté)

ϭ. plantation après le 27 novembre : économie maximum (6 semaines)

b) par la possibilité de succession des cycles de culture. Il est certain que dès lors que la période d'occupation du sol est moins longue, le nombre de cycles réalisables peut être accru (X-2). Le schéma théorique représentant les deux types de variétés (15 semaines et 21 semaines) montre que, pour les premières deux cultures, peuvent pratiquement être réalisées, compte tenu de l'échelonnement recherché des floraisons alors que pour les secondes une seule récolte est possible dans la période du 1er novembre au 15 février. Tenant compte du groupement de la floraison qui entraîne une récolte durant la semaine qui suit la floraison, nous avons représenté chacun des types variétaux par des phases de 9 semaines et 15 semaines correspondant effectivement aux possibilités de renouvellement des plantations.

Il faut rappeler que l'utilisation de variétés plastiques permet d'obtenir l'échelonnement des floraisons à partir du décalage des dates de semis. En fait, de telles variétés n'existaient pratiquement pas dans les types à cycle long ; d'autre part, en réalité, ces derniers n'étaient pas aptes à produire des fleurs coupées avant le 10 décembre. Ainsi, le schéma X-2 demeure lui aussi théorique mais permet d'évaluer l'importance de l'économie minimum ainsi réalisée.

Pour mener à bien cette amélioration, nous avons vu au cours des chapitres précédents et à différents niveaux de la sélection, l'incidence des modes de diversification. De plus, nous avons discuté les limites qui se sont imposées lors de la réalisation du programme de sélection. Parmi celles-ci, il faut citer de nouveau la non-répétitivité du crible. Nous avons dû utiliser un terme correctif pour pallier les difficultés d'interprétation des notations au cours des différents cycles.

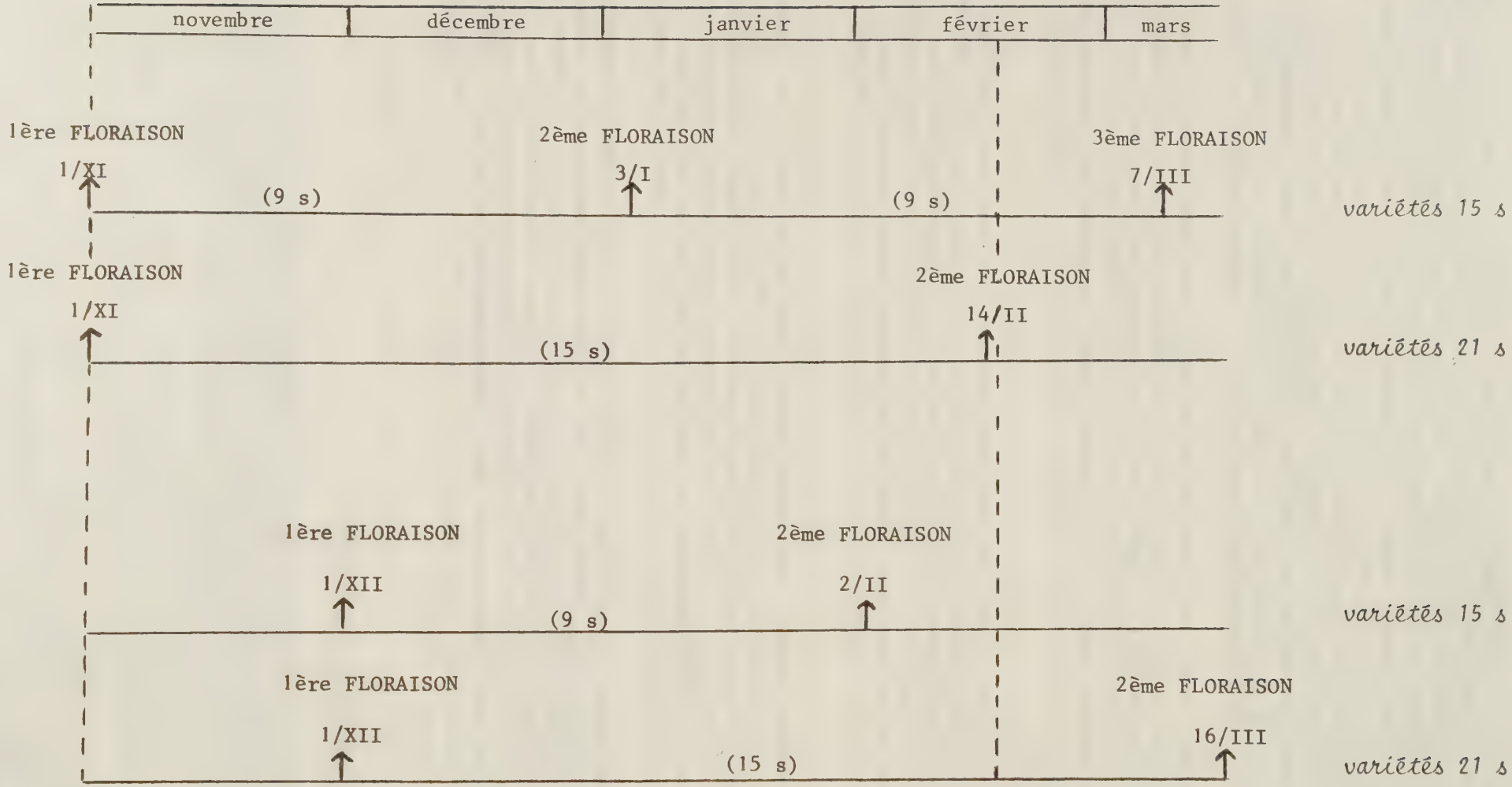
Le modèle de crible choisi s'est imposé compte tenu de la quantité de lignées sélectionnées. Le gain mesuré en fin de programme est très significatif. Il est le fait d'une héritabilité importante pour les caractères sélectionnés (tableau VI-4). Au contraire, chez Matthiola où l'interaction génotype x milieu en relation avec l'ensoleillement des mois de septembre et octobre en particulier est de même grandeur que la variance génétique, le modèle de crible s'est avéré moins efficace.

L'étude en phytotron en conditions de température et d'éclairement constantes, si elle avait été réalisable, aurait facilité la comparaison des voies de convergence. Toutefois, en dehors des problèmes d'effectif, elle n'aurait pas permis la réalisation du programme de sélection. En effet, à l'heure actuelle, il n'est pas techniquement possible de reproduire en phytotron l'éclairement naturel tel qu'il a été appliqué dans le crible sous serre. Les différences sont telles qu'il n'apparaît pas de corrélation entre les comportements en phytotron et sous serre pour un génotype donné. (A.P.M. den NIJS - 1979).

X.2- LES VARIETES HYBRIDES F1 REALISEES

Dans les chapitres précédents, pour les principaux caractères retenus en tant qu'objectifs de sélection, nous avons étudié, individuellement, les effets des voies de diversification et mesuré le niveau atteint. Le choix des combinaisons, en vue de la réalisation de variétés hybrides F_1, implique d'apprécier globalement les différentes caractéristiques de l'hybride :

- l'adaptation aux conditions de température et de luminosité limitées
- le coloris
- la hauteur de la plante
- les qualités de l'inflorescence :
  - . sa forme
  - . sa taille
  - . sa densité
  - . la grosseur des fleurs



X-2. POSSIBILITES DE REALISATION DE CYCLES SELON LE TYPE VARIETAL

(variétés plastiques de 15 semaines ou de 21 semaines)

- le groupement de la floraison
- le raccourcissement du cycle semis-floraison
- le port de la plante
- la plasticité, réponse aux dates de semis échelonnées
- la rigidité de la tige
- la tenue en vase
- le coefficient de multiplication : quantité de semences hybrides produites à partir des lignées parentales ainsi que capacité de multiplication de ces dernières.

Parmi toutes ces caractéristiques, certaines ont donc fait l'objet d'une sélection ; d'autres sont jugées, à postériori, dans les essais comparatifs menés en conditions simulées de production (cf. paragraphe III-4-1). La tenue en vase, durée de la floraison et absence de chute précoce des fleurs, est appréciée à la température d'une pièce d'habitation, à l'issue des essais. La capacité de multiplication est mesurée par la quantité de semences hybrides produites aptes isolément des deux lignées parentales soit par pollinisation entomophile soit par pollinisation manuelle ; les mêmes mesures sont réalisées sur chacune des lignées parentales dans les mêmes conditions.

En ce qui concerne les caractères sélectionnés, les méthodes de convergence, en augmentant le taux des recombinaisons, ont conduit à l'élaboration d'un plus grand nombre de lignées groupant simultanément plusieurs caractères favorables. Ainsi parmi les lignées I_6 adaptées aux conditions du crible, on dénombre les taux suivants de lignées à port favorable (unicaulis) :

62 % pour la sélection généalogique directe
74 % pour l'ensemble des trois sélections convergentes

En ce qui concerne le taux des lignées unicaulis précoces (floraison en moins de 160 jours-unités), on observe :

44 % pour la sélection généalogique directe
53 % pour l'ensemble des trois sélections convergentes

Enfin, pour les lignées unicaulis précoces dont la hauteur dépasse 1 m, on en compte :

2 % pour la sélection généalogique directe
9 % pour l'ensemble des trois sélections convergentes.

Rappelons qu'il s'agit bien, dans le cas du port et de la précocité, de recombinaisons favorables puisque la sélection a porté tout d'abord sur l'adaptation aux conditions du crible et ultérieurement sur la précocité et la longueur du cycle. Pour la hauteur, le phénomène est comparable puisque nous avons retenu, de préférence, les plantes à vitesse de croissance élevée.

Pour l'étude comparative des voies de diversification, nous avons été conduit à réaliser plus de 200 lignées I_6 permettant de réaliser plus de 20 000 combinaisons hybrides. Pour la création variétale, le choix des hybrides a été limité à 8 représentant la gamme des coloris commerciaux (X-3). En effet, nous avons recherché et obtenu un type variétal unique permettant de couvrir la période de production florale considérée (du 1er novembre au 15 février) alors que cette période correspond à l'heure actuelle à deux groupes de floraison (cf. paragraphe IV-1-3) et donc à deux gammes variétales : le groupe I (floraisons du 10 décembre au 15 février) et le groupe II automnal (floraisons du 25 octobre au 10 décembre).

X-3. LES VARIETES HYBRIDES F_1 COMMERCIALISEES

(COOBTENTIONS I.N.R.A.-A.C.V.P.F.)

dénomination commerciale	identité	coloris	origine (coloris des lignées parentales)
Savoie	197	blanc pur	♀ AE.8.5.1.2.11.5.1 = lignée AE (blanc) ♂ AI.22.8.2.15.2.2 = lignée AI blanc
Normandie	17	rose fleur de pommier	♀ ms BK (jaune) ♂ 249.14.4.25.4.6.4 = lignée 249 (blanc)
Anjou	78	rose clair	♀ 270.5.1.11.11.1 ♂ 407.1.6.17.8.15.1.5 = lignée 407 (blanc)
Poitou	267 bis	rose moyen	♀ P.292.23.6.15.2.3.5.12 = lignée P.292 (blanc) ♂ P.250.17.9.15.5.2.4.5 = lignée P.250 (rose)
Béarn	180	jaune	♀ 278.8.6.4.11.14.4 (jaune) ♂ BJ.6.10.12.12.3.11 = lignée BJ_3 (jaune)
Alsace	171	bicolore saumon rosé et jaune	♀ P.266.5.7.5.6.5.5.2 = lignée P.266 (bronze) ♂ P.250.3.12.2.4.5.5.6 = lignée P.250 (bronze)
Artois	38	rouge magenta	♀ BJ.23.78.15.6.2 = lignée BJ_4 (magenta) ♂ BN.8.56.1.14.15.12.1 = lignée BN_2 (pourpre)
Berry	60	magenta	♀ 292.2.13.5.5.3.14.13 = lignée 292 (pourpre) ♂ 407.1.6.17.8.15.1.5 = lignée 407 (blanc)

C'est donc par rapport à chacun des 8 coloris retenus que s'est fait le choix des combinaisons hybrides en fonction des caractéristiques déjà citées. Il existe donc, à ce niveau, une hiérarchie entre les différents caractères puisque après la couleur de la fleur et l'adaptation aux conditions du crible, interviennent successivement, le port, le coefficient de multiplication et les autres caractéristiques quantitatives. Les illustrations X-4 présentent une variété hybride F_1 en comparaison avec ses lignées parentales.

Une seule variété-hybride F_1 (Normandie) utilise la stérilité mâle monogénique récessive. En effet, l'introduction de la stérilité mâle et les sélections généalogiques ont été menées simultanément impliquant un choix à priori des lignées parentales récurrentes qui n'a pas coïncidé avec le choix des lignées en fonction de leurs aptitudes à la combinaison. D'autre part, la nécessité de proposer au commerce rapidement ces hybrides ne nous a pas permis de mener, à posteriori, un programme de reconversion des lignées retenues. Les variétés élaborées sont des coobtentions I.N.R.A.-A.C.V.P.F., traduisant l'état de copropriété du matériel génétique élaboré.

Ces variétés sont donc adaptées à la production hivernale à température réduite et en lumière naturelle. Elles permettent ainsi la relance d'une production florale hivernale sous serre dans la région parisienne que les floriculteurs ont du le plus souvent abandonner compte-tenu des coûts de production trop élevés durant cette période ou de la médiocre qualité des produits obtenus dès lors qu'ils tentent d'abaisser les températures ambiantes pour des variétés non-adaptées.

X-4. LES LIGNEES PARENTALES DE LA VARIETE HYBRIDE F_1 BEARN

à gauche : ♀ 278.8.6.4.11.14.4 (jaune)

à droite : ♂ BJ.6.10.12.12.3.11 (jaune) (3 plantes)

X-4. LA VARIETE HYBRIDE F_1 BEARN (jaune)

à gauche : en condition de sélection

à droite : en condition de production

BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie complète analysée et relative à Antirrhinum majus est présentée en annexe. Les références, ici mentionnées, sont celles qui ont été déterminantes dans cette étude.

ALLARD H.A. et ZAUMEYER W.J.	1944	Responses of beans (Phaseolus) and other legumes to length of day. U. S. Dep. Agric. Tech. Bull. 867 : 1-24.
ALLARD R.W.	1966	Principles of Plant Breeding. John Wiley and Sons, Inc. New-York. 3ème édition.
ANON	1968	Sommerblumen Auswahlsortiment 1968. Dtsche Gärtnerbörse 68 : 72-8.
"	1966	Antirrhinum F_1 hybrids as cut flowers. Gdnrs' Chron., 160 (11) : 6-7.
BALL G.	1961	Catalogue commercial. G. J. Ball, Inc. West Chicago, Ill.
BAUR E.	1923	Die Faktorenkoppelung bei Antirrhinum im licht der Morganschen Theorie. Z. f. indukt. Abst.-u. Vererbungsl. 30, 289.
"	1912	Vererbung - und Bastardierungversuche mit Antirrhinum. II - Faktorenkoppelung. Z. f. indukt. Abst.-u. Vererbungsl. 6, 201-216.
"	1911	Ein Fall von Faktorenkoppelung bei Antirrhinum majus. Verh. d. naturf. Vereins in Brünn, Bd XLIX.
"	1910	Vererbungs - und Bastardierungsversuche mit Antirrhinum . Z. f. indukt. Abst.-u. Vererbungsl. 3, 34-98.
"	1907	Untersuchungen über die Erblichkeitsverhältnisse einer nur in Bastardform lebensfähigen Sippe von Antirrhinum majus. Ber. d. Dt. Bot. Ges. 25, 442-454.
BLACK A.D.	1954	The effect of supplementary light on the growth and time of flowering of snapdragons. Masters thesis, Pennsylvania State University.
BLACKMAN G.E. et BLACK J.N.	1959	A further assessment of the influence of shading on the growth of different species in the vegetative phase. Annals of Botany, 23, 51.

CARBONNEAU M.C. et SAUPE D.C. 1966 Forcing annuals for early spring flower shows. Ill. St. Flor. Ass. Bull. 1966 N° 272, p. 2-4.

COSTE H. 1937 Flore descriptive et illustrée de la France. Librairie des sciences et des arts. Paris - T III, 8-11.

COYNE D.P. 1966 The genetics of photoperiodism and the effect of temperature on the photoperiodic response for time of flowering in Phaseolus vulgaris L. varieties. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 89 : 350-60.

CRUMPACKER D.W. et ALLARD R.W. 1962 A diallel cross analysis of heading date in wheat. Hilgardia, Vol. 32, 6, 275-318.

DAGNELIE P. 1970 Théorie et Méthodes statistiques. J. Duculot S.A. Gembloux.

DEMARLY Y. 1977 Génétique et Amélioration des Plantes Masson, Paris.

DOGNIAUX R. et NISEN A. 1975 Traité de l'éclairage naturel des serres et abris pour végétaux. Institut Royal Météorologique de Belgique, Bruxelles.

DUFFET W. 1961 How Yoder checks snaps for shattering. Grower Circle News 7 : 10.

" 1960 Snaps in winter at 60°. Grower Talks. Vol. 24 (3) : 18-20.

" 1960 Response groups and varieties for year-round snapdragons. Nat. Snapdragon Soc. Bull. 11 : 6-7.

EDWARDS K.J.R. 1974 Effects of temperature on genetic differences in flowering in Antirrhinum majus. "The Glasshouse Environment and objectives in breeding new varieties of ornamental crops". Eucarpia meeting Norwich 4/74 - p. 32-40.

" et COLDENBERG J.B. 1975 A temperature effect on the expression of genotyp differences in flowering induction in Antirrhinum majus. Ann. Bot. 40, 1277-83.

" et " 1973 Developmental genetics of variation in flowering time in Antirrhinum majus. Heredity 29 (3) 291.

ESTIENNE P. et GODARD A. 1970 Climatologie. A. Colin, Paris.

FALCONER D.S. 1974 Introduction à la génétique quantitative. Masson, Paris.

FLINT H.L. 1960 Relative effects of light duration and intensity on growth and flowering winter snapdragon (Antirrhinum majus). Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 75 : 769-73.

FLINT H.L.	1958	Effects of supplementary illumination on the growth of winter snapdragon (Antirrhinum majus). Doctoral Thesis, Cornell University, Ithaca, New-York. 135 p.
"	1953	Snapdragon lighting. New-York State Flower Growers Bul. 145 : 1, 3, 5.
" et ANDREASEN R.C.	1959	Effect of supplementary illumination on the growth and time of flowering of snapdragon (Antirrhinum majus). Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 73 : 479-89.
GRAIG D.L.	1959	Response of greenhouse crop to supplementary illumination during the winter months in Nova Scotia. Canada J. Plant. Sci. 39 : 135-40.
GRISOLLET H.	1958	Climatologie de Paris et de la Région Parisienne. Direction de la Météorologie Nationale. Paris.
GUGENHAU	1959	Growing Snapdragon all the year round. Gartenwelt 58, 260-1.
HANEY W.J.	1958	Snapdragons that are shatter resistant. Nat. Snapdragon Soc. Bul. 10 : 5.
"	1956	National snapdragon society meeting. Nat. Snapdragon Soc. Bul. 6 : 6.
"	1954	Color genotypes of the green-house snapdragon. J. Heredity - t. 45 (3) 146-148.
"	1953	Daylenght manipulation to time snapdragons. Nat. Snapdragon Soc. Bul. - 2.
"	1952	Snapdragon shattering. Nat. Snapdragon Soc. Bul. - 1 : 6-7.
" GARTNER J.B. et WILSON G.B.	1953	The effect of light on the expression of heterosis in Antirrhinum majus L. J. heredity - t. 44 (1) 10-12.
HAYMAN B.I.	1960	The separation of epistatic from additive and dominance variation in generation means II. Genetica XXXI, 133-146.
"	1960	The theory and analysis of diallel crosses III. Genetics 45 : 155-172.
"	1958	The theory and analysis of diallel crosses II. Genetics 43 : 63-85.
"	1958	The separation of epistatic from additive and dominance variation in generation means I. Heredity : 12, 371-390.

HAYMAN B.I.	1957	Interaction, Heterosis and Diallel Crosses. Genetics 42 : 336-355.
"	1954	The theory and analysis of diallel crosses. Genetics 39, 789-809.
HEDLEY C.L.	1974	Response to light intensity and day-lenght of two contrasting flower varieties of Antirrhinum majus L. J. Hortic. Sci. t. 49 (I) 105-112.
"	1974	The use of naturally occuring variants in the analysis of flowering of Antirrhinum majus. "The glasshouse Environment and objectives in breeding new varieties of ornamental crops" Eucarpia meeting Norwich 4/74 - p. 41-58.
" et HARVEY D.M.	1975	Variation in the photoperiodic control of flowerin of two cultivars of Antirrhinum majus L. Ann. Bot. t. 39 (160) 257-263.
HILLER W. et SCHELLHASE R.	1960	Experimental results obtained in the artificial lighting of snapdragons. Arch. Gartenb. 8 : 432-40.
HOLLEY W.D.	1966	Year-round snapdragon culture for Colorado. Bull. Colo. Flower Gs' Ass - N° 200, 1-4.
KLUETER H.H. et al.	1971	Xenon light and temperature effects on photosynthesis in cucumber. ASAE Paper N° 71, 935.
KNAPP E.	1939	Haploïde Pflanzen von Antirrhinum majus. Ber. Dt. Bot. Ges. 57, 8, 371-379.
" et SCHICK R.	1930	Die Erbfaktoren bei Antirrhinum majus und ihre Bezeichnung. Z. f. indukt. Abst.-u. Vererbungsl. 56, 51-83.
LANGHANS R.W. (Ed)	1962	Snapdragons, a manual of the culture, insects and diseases and economics of snapdragons. New-York State Flower Growers Assoc., Ithaca, N.Y..
LAUDANSKI F.	1965	Cours de Génétique formelle. Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture.
"	1967	Cours de Génétique des Populations. Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture.
" MITTEAU M.	1973	Création de variétés florales pour une production en jours courts. C.R. de fin de contrat d'une recherche financée par la D.G.R.S.T. Action concertée Technol. agric., contrat n° 6901. 631-33 p.

LAUDANSKI F. et al.	1970	Etude de deux types de stérilité mâle chez le muflier (Antirrhinum majus L.) "La stérilité mâle chez les plantes horticoles", Réunion Eucarpia. Sect. hortic., Versailles, 107-114.
LE COCHEC F.	1971	Les méthodes de calcul du coefficient d'héritabilité en amélioration des plantes. Sciences Agronomiques, Rennes.
LINK C.B. et SHANKS J.B.	1962	Influence of temperature and photoperiod on flowering of snapdragons. Mich. Hor. N° 378 p. 18.
MAATSCH R.	1958	Flowering Snapdragon from april to july. Some basic facts for growing them as cut flowers. Gartenwelt - 58 : 359-361.
Mc LAUGHLIN H.A.	1952	Low temperature and "skips" in snapdragons. New York State Flower Growers Bul. 85 : 2-3.
"	1952	A study of the effect of low temperatures upon the blasting of buds in Antirrhinum majus. Master thesis, Cornell University, Ithaca, N.Y., 90 p.
MAGINNES E.A.	1964	Some effects of photoperiod and temperature on morphogenesis of Antirrhinum majus L. Dissert. Abstr. 23 : 1471.
"	1960	The effect of daylenght and temperature on initiation and flowering of snapdragon (Antirrhinum majus - variety Jackpot). Master thesis, Cornell University, Ithaca, N.Y. 66 p.
" et LANGHANS R.W.	1967	Flashing light affects the flowering of snapdragons New York State Flower Growers Bul. 261 p. 7-3.
" et "	1967	Photoperiod and flowering of snapdragon. New York State Flower Growers Bul. 260 p. 1-3.
" et "	1966	Suckered or nonsuckered snapdragons. New York State Flower Growers Bul. 248 p. 1, 7-8.
" et "	1961	The effect of photoperiod and temperature on initiation and flowering of snapdragon (Antirrhinum majus). Variety "Jackpot". Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 75 : 761-768.
" et "	1960	Daylenght and temperature affect initiation and flowering of snapdragons. New York State Flower Growers Bul. 171 p. 1, 5-6.
" et "	1960	Snapdragon initiation and flowering affected by day-lenght and temperature. Flor. Exch., 135 (8) 16.

MAHMOUD I. et KRAMER H.H.	1951	Segregation for yield, height and maturity following a soybean cross. Agron. J. 43, 605-609.
MILLER R.O.	1961	Variation in optimum temperature depending on plant size. Proc. 16th Int. Hort. Congr., Brussels. Vol. 1 - p. 341-342.
"	1960	Snapdragons culture. Mimeo Ohio Agric. Expt. Station - 13 p.
"	1960	Growth and Flowering of Snapdragons as Affected by Night Temperatures Adjusted in Relation to Light Intensity. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75 : 761-768.
"	1959	What temperature for greenhouse Snapdragons ? Ohio Fm. Home Res. 44 : 42-43, 47.
"	1958	50° F for Snapdragons ? New York State Flower Growers Bul. 145 p. 1-8.
"	1958	A study of the vegetative growth and flowering of Snapdragons (Antirrhinum majus) as affected by the interactionship of light intensity and night temperature. Doctoral Thesis, Cornell University, Ithaca, New York, 137 p.
MINISTERE DE L'AGRICULTURE	-	Bulletin des Nouvelles du Marché des Fleurs, Plantes et Feuillage quotidien. Paris.
MITTEAU M.	1980	Sélection pour le port chez Antirrhinum majus L. "Ornamental species with sexual reproduction : development in breeding new varieties". Eucarpia, Versailles 4/80, p. 51-60.
"	1979	Sélection de l'Antirrhinum majus L. en vue d'une production hivernale dans les conditions rustiques d'une serre maraîchère. "Breeding of glasshouse and field crops for adaptation to low temperature and low light intensity". Eucarpia. Wageningen 2/79.
"	1976	Breeding of some ornamental genus for cut flower production under short day conditions. Acta Horticulturae n° 63. p. 121-130.
" et CACHON H.	1974	Breeding ornamental varieties for production under short day conditions. "The glasshouse environment and objectives in breeding new varieties of ornamental crops". Eucarpia. Norwich 4/74, p. 84-92.

MITTEAU Y. 1974 Héritabilité du caractère floraison en jours courts chez les espèces ornementales à multiplication sexuée. I. Antirrhinum majus L. D.E.A. Amélioration des Plantes. Université Paris-Sud. Orsay.

MONTEGUT J. 1961 Cours de Systématique. Ecole Nationale Supérieure d'Horticulture.

PETERSEN H. 1957 Artificial irradiation of commercialy grown snapdragons. Arsskrift, Yearbook d. Königl. Tierärgztl u. Landwirtschaftl. Hochschüle. Kopenhagen.

" 1955 Artificial light for seedlings and cuttings. New York State Flower Growers Bul. 122 : 2-3.

POST K. 1942 Effects of daylength and temperature on growth and flowering of some florist crops. Cornell Univ. Agri. Expt. Station Bul. 787, 56 p.

RABINOVITCH H.D. 1977 Biometrical analyses of some economically important characters in Antirrhinum majus. Theor. appl. Genet. 49, (I) 35-42.

" 1976 Variations in budding and flowering-time of commercial cultivars of Antirrhinum majus. Scientia Hort. 5 : 287-291.
HEDLEY C.L. et ARTHUR A.E.

RICHEY F.D. 1927 The convergent improvement of selfed lines of corn. Amer. Nat. 61 : 430-449.

" 1931 Experiments on hybrid vigor and convergent improvement in corn. U.S. Dept. Agric. Tech. Bull. 267.
et SPRAGUE G.F.

ROGERS M.N. 1961 Year-round snapdragon culture. 5. The reaction of varieties of different response groups grown during the winter months at 60° F and 50° F night temperature. Missouri State Florist News 22 (6) 5-7.

" 1961 The reaction of varieties of different response groups during the winter months at night temperature of 60° F, 50° F and 40° F with supplementary light. Nat. Snapdragon Soc. Bul. 13.

" 1959 Effects of potting seedlings vs. direct benching on flower quality. Missouri State Florists News - 20 (6) 3-6.

" 1958 Effects of lighting and shading snapdragons seeded during the summer months. Missouri State Florists News 18 (3) 3-7.

SALISBURY F.B. 1963 The flowering process. Pergamon Publishing Co, Elmsford N.Y..

SANDERSON K.C.	1965	The influence of temperature and photoperiod on the growth and quality of a winter (cv. Wintergree and summer (cv. Florida) variety of snapdragon Antirrhinum majus L. Diss. Abstr. t. 26 (3) 1270.
" et LINK C.B.	1967	The influence of temperature and photoperiod on the growth and quality of a winter and summer cultivar of snapdragon Antirrhinum majus L. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91 : 598-611.
" et MARTIN W.C.	1975	Evaluation and Scheduling of Snapdragon Cultivars. Agricultural Experiment Station Auburn University, Bul. 468, 5-21.
SNEDECOR G.W. et COCHRAN W.G.	1967	Statistical Methods. 6ème edition. Iowa State University Press. Ames.
STUBBE H.	1966	Genetik une Zytologie von Antirrhinum L. sect. Antirrhinum. V.E.B. Gustav FISCHER VERLAC, Jena, 421 p.
TAYAMA H.K.	1964	Relationship of plant age, leaf dry weight/total dry weight ratio, net assimilation rate, and carbohydrate content to optimum growing temperature of the snapdragon. Diss. Abstr. 24 : 43-40 (n° 64, 6969, 63 p.).
" et KAMP J.R.	1960	Column stocks and Companion crops VI. Snapdragon, companion for the spring planting of stocks. Ill. St. Flor. Ass. Bul. 206, 4.
" et "	1960	Column stocks and companion crops IV. Snapdragon, companion for all planted stocks. Ill. St. Flor. Ass. Bul. 205, 5.
" et MILLER R.O.	1965	Relationship of plant age and net assimilation rat to optimum growing temperature of the snapdragon. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 86, 672-79.
TOURNEFORT J.P.	1700	Institutiones rei herbariae. Paris.
UEMOTO S.	1964	Studies on the F_1 hybrids of snapdragon Antirrhinu majus L. On several ecological characteristics of various diploid hybrid forms. Sci. Bull. Fac. Agric. Kyushu - 21 : 185-213.
VAN DER NIJS A.P.M.	1979	Glasshouse cucumber breeding for adaptation to lower temperatures in winter "Breeding of glasshouse and field crops for adaptation to low temperature and low light intensity". Eucarpia, Eucarpia, Wageningen 2/79.
WENT F.W.	1957	Environmental Control of Plant Growth. Chronica Botanica 17, Ronald Press, New-York.

WHELDALE M.	1914	Our present knowledge of the chemistry of the mendelian factors for flower-colour. Journal of Genetics 4, 109-129.
"	1913	The flower pigments of Antirrhinum majus. II. The pale yellow or ivory pigment. Biochem. J. 7, 441-444.
"	1913	The flower pigments of Antirrhinum majus. I Method of preparation. Biochem. Journ. 7, 87-91.
"	1910	Die Vererbung der Blütenfarbe bei Antirrhinum majus. Z. f. indukt. Abst.-u. Vererbungsl. 3, 321-333.
"	1909	Further observations upon the inheritance of flower colour in Antirrhinum majus. Evol. Comm. Roy. Soc. Rep. 5, 1-26.
"	1907	The inheritance of flower colour in Antirrhinum majus. Proc. Roy. Soc. Ser. B, 79, 288-305.
" et BASSET H.L.	1914	The flower pigments of Antirrhinum majus. III. The red and magenta pigments. Biochem. J. 8 (2) 204-208.
" et "	1914	The chemical interpretation of some mendelian factors for flower-colour. Proc. Roy. Soc. London 87, 300-311.
WHETMAN J.	1965	Antirrhinums for cut flower production. Exper. Hort. 13, 89-97.

Le programme qui a été ainsi réalisé est l'oeuvre d'une équipe à laquelle j'ai été associée. Je souhaite que chacun de ses membres, que son action ait été temporaire ou qu'il soit encore des nôtres, retrouve ici son apport original.

à eux

à Madame CZACHOR qui a patiemment et sans se lasser recomposé textes et tableaux

à tous ceux qui m'ont aidé

à ceux qui m'ont prodigué leur patience et leur compréhension

j'adresse l'expression de ma très vive et profonde gratitude.